

平成21年度  
地下水汚染浄化実証試験報告書  
4.3生態系等への影響評価

## 4.3 生態系等への影響評価

### 4.3.1 本評価の位置づけ

本節では、本実証試験において、土壌・地下水汚染の浄化効果が確認された嫌氣的バイオスティミュレーション法を、将来的に当該汚染地域の全域で適用することを想定し、当該汚染地域における生態系等への影響を評価する。

### 4.3.2 評価方針

本評価は、前節までに取りまとめた本実証試験で得られた成果及び既往調査結果報告書を主たる根拠資料としている。

また、評価の取りまとめに当たっては、「微生物によるバイオレメディエーション利用指針（平成 17 年 7 月 経済産業省・環境省）」（以下、「利用指針」という。）を参考とした。

この利用指針は、本来、バイオオーグメンテーション法を対象にしているが、本市がこの利用指針を参考としたのは、利用指針第六条第四の「バイオスティミュレーションの扱い」の項において、“浄化事業の計画及び実施に当たり、栄養物質等の添加等本指針の考え方を参考にしつつ、事業者自らが適切な安全性の点検を行い、適切な安全管理の下に実施するよう努めること”と記載されており、バイオスティミュレーション法の適用を検討する際には、利用指針の準用を図る旨が明確に記載されているからである。

本評価においては、この利用指針を嫌氣的バイオスティミュレーション法に準用するにあたり、バイオオーグメンテーション法で評価対象となる自然環境から分離し、培養した特定の分解微生物である“利用微生物”を“土着の分解微生物”に相当するものと解釈することで準用を試みた。なお、バイオオーグメンテーションに特化された評価部分に関しては、理由を明記し評価を割愛することとした。

なお、次項の評価結果のとりまとめにおいては、必ずしも微生物や浄化の専門家では無い関係者間のコミュニケーションツールを作成するという観点から、従来の生態系等への影響評価書で見られるような専門性の高い表現の多用を避け、できるだけ平易な文章作成を心掛けたこと、またその一方で、引用する資料に関しては、専門家の検証も可能な様に、原著／報告書を引用することで、科学的検証に堪えうる精度を担保するように心掛けた。

加えて、本節中に示す微生物・病原性細菌等に関連する測定値については、それぞれ、対象項目及び測定条件等が異なるため、複数の単位を用いているが、その統一は行っていない。これは、前述の引用元との照合を容易にし、かつ、引用した情報の正確性を担保するためのものである。

また、以下の項で示す微生物及び病原性細菌等に関する各種測定値について、3.5.4にも示したとおり、その測定原理の差異により厳密な数値の比較を行うには適さないものの、今回、評価対象となる嫌気バイオスティミュレーション技術を用いた浄化技術を現地適用した際の、地中及び地下水中の環境の変遷に関して、おおよその微生物及び病原性細菌等の増減傾向を把握するという観点からは、単位液量あたり（1ml あたり）へ単位変換し、各種測定値を 10 の累乗オーダー単位で比較、検証することが可能であると判断し、本試験の評価にあたっては、オーダー単位での比較を行うことで評価を行った。

### 4.3.3 評価結果

以下に、評価結果を示す。

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 利用微生物の情報 | <p>(1) 主たる利用微生物（分類学上の位置付け）</p> <p>土壌・地下水汚染の浄化範囲として想定される南吹田地域の汚染地域（以下、「浄化想定地域」という。）内で適用が見込まれるバイオスティミュレーション技術は、TCE 等の有機塩素化合物の完全脱塩素化を図る土着の嫌気性細菌類を利用する技術である。</p> <p>【脱塩素化に係る主な反応経路】</p> <div style="text-align: center;"> <p style="margin-top: 10px;"> <chem>ClC(Cl)(Cl)C(Cl)Cl</chem>    <chem>ClC(Cl)(Cl)C</chem>    <chem>ClC(Cl)C</chem>    <chem>ClC=C</chem>    <chem>C=C</chem><br/> PCE                      TCE                      c-DCE                      VC                      エチレン </p> </div> <p>本浄化技術においては、特に DCE よりエチレン迄に到る完全脱塩素の達成が技術上で求められ、この作用を有する土着のデハロコッコイデス属細菌（以下、「DHC 属細菌」という。）の増殖を促す操作が重要となる。</p> <p>なお、DHC 属細菌は、1997 年に Maymo-Gatell らの研究によって従来の脱塩素細菌とは異なる分類群に属する新規の脱塩素細菌 <i>Dehalococcoides ethenogenes</i> 195 株として紹介されている（Science, Jun 6;276(5318):1568-71 1997）。</p> <p>(2) 使用の歴史及び現状</p> <p>嫌気環境下にて有機塩素化合物の脱塩素化が図られる現象は、1980 年代に発見され、その作用機構や環境浄化技術への利用に関する研究開発が、米国や日本を中心に 1990 年代に盛んに実施された。日本国内においては、嫌気脱塩素技術に関する特許が 1996 年頃から出願され始め（出願番号：特願平 8-213030 や特願平 9-25367 等）、国内における本技術を用いた浄化事業展開がスタートした。以後、現在に至るまで、特に DHC 属細菌の増殖を促す薬剤と原位置浄化技術分野の研究開発が環境浄化企業を中心に精力的に進められ、嫌気脱塩素を原理とする土着の嫌気性細菌群を利用したバイオスティミュレーション工法は、各社実績を総じて国内だけでも数百件を越える浄化実績を有するに到っている。</p> |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### (3)生理学的及び生態学的性質

#### a. 基本特性

浄化想定地域内で適用が見込まれる有機塩素化合物の完全脱塩素化を図る嫌氣的バイオスティミュレーション技術（以下、「適用技術」という。）は、有機塩素化合物によって汚染された土壌や地下水に対し、空気（酸素）を遮断しながら微生物のエネルギー源や炭素源となる有機性資材や窒素／リン肥料を混合することで、土着微生物によって土壌や地下水を一定レベルの嫌気状態として、TCE 等の有機塩素化合物を完全脱塩素化する DHC 属細菌等の有用微生物の増殖を促し、汚染浄化を図る技術である。

上記の一定レベルの嫌気状態とは、概ねメタン生成が図られる嫌気条件であり、自然環境では富栄養化が進んだ河川の底泥、流れの緩慢な側溝、積上げ堆肥など、酸素が遮断され有機物濃度が高くその腐敗が進む環境にてしばしば観察される環境状態である。

Hendrickson らの研究 (Appl. Environ. Microbiol., 68(2), 485, 2002) によれば、帯水層（砂／粘土）、汚泥池、汚染土（粘土）、汚染帯水層（砂層／或いは有機質との互層）、亀裂性岩盤等の様々な環境試料中からの DHC 属細菌の検出が報告されており、加えて我が国はもとより、米国大陸、欧州大陸等の広範なエリアでの分布が併せて確認されている。

このような DHC 属細菌の広範な分布は、嫌気状態が保たれる環境条件下において、DHC 属細菌が高い確率で存在すること及び DHC 属細菌を利用したバイオスティミュレーション技術に汎用性があることを示唆するものである。

ところで、浄化想定地域における主たる浄化対象帯水層である第一帯水層（地表に最も近い地下水帯）の汚染は、当初の汚染物質である TCE（一部に PCE を含む）の多くが、その後の時間経過に伴う DHC 属細菌等による分解と地下水流による拡散の結果、DCE 等迄に脱塩素化が進行し、広範囲に分布する状況にある（「平成 20 年度 地下水汚染機構解明調査報告書（平成 21 年 3 月 吹田市）」参照）。この汚染の分布状況からは、浄化想定地域内の地下水中、または土壌中の有機物、或いは地下に浸透した汚染物中に存在した有機物を土着の脱塩素化微生物の一部が利用して、PCE 及び TCE から DCE までの不完全な脱塩素化が図られたとともに、その一方で VC を介した DHC 属細菌による完全脱塩素化が緩慢に進行した経緯が想定される。

なお、浄化想定地域内の第一帯水層相当の砂質土層には、土着の DHC 属細菌が土壌 10g あたり  $10^6$  個体程度棲息していることを確認している（「2.7.3 脱塩素化微生物増殖状況」参照）。

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>b. 好適生育環境の条件（利用微生物の生育が有利になる又は生存を制限する条件）</p> <p>適用技術は、「a.基本特性」に記載したとおりの浄化技術であるため、酸素の供給、有機性資材／肥料類の枯渇によって係る微生物の増殖とその反応を容易に制御できる。また、浄化対象のTCE等の有機塩素化合物は、DHC属細菌等の増殖を促す要因でもあるので、これらの浄化完了時たる枯渇時には、このDHC属細菌等の増殖も停止する。その他の水質条件として、pH等が挙げられるが、通常の水環境で観察される弱酸性から中性付近のpH環境において脱塩素反応及びDHC属細菌の検出が報告されている（Zaan et al., Appl.Environ.Microbiol., 76(3),843-850, 2010）。</p> <p>また、上記のとおり適用技術は、有機性資材や肥料の供給によってDHC属細菌等の増殖を促すことで、浄化を推進することが可能であるが、特に有機性資材を慎重に選択することで、より効果的な浄化を図ることが可能である。この効果的な浄化資材の選択とその効果に関しては、浄化想定地域内の土壌・地下水を用いた室内試験（以下、単に「室内試験」という。）及び浄化想定地域内の一部の敷地を利用した現地パイロット試験（以下、単に「現地パイロット試験」という。）の実施によって、適用技術による浄化を実施する際に有益な情報を得ている（「2. バイオトリタビリティ試験」及び「3. 現地パイロット試験」参照）。その概要については、以下のとおりである。</p> <p>室内試験では、薬効と実績から2種の有機性資材をあらかじめ選択し、これらの浄化効を検証した。結果、商品名：EDC(エコサイクル社製)の添加により、土着のDHC属細菌等の増殖が速やかに促されること、また約1ヶ月程度の期間にて完全脱塩素化が図られることが確認され、別の一方の有機性資材と比較し、より優れた浄化効能を有することを確認している。</p> <p>室内試験結果に基づき実施した現地パイロット試験では、EDCを浄化想定地域内の一部の地域に注入し、約6ヶ月の期間をもって完全脱塩素が図られることを確認し、現地での嫌気脱塩素技術を用いた汚染浄化が可能であることを実証している。</p> <p>c. 寄生性又は共生性</p> <p>本項は個々の外来菌に対する詳細な評価項目であり、評価対象外とした。</p> <p>d. 生活環（接合、孢子形成等）</p> <p>本項は個々の外来菌に対する詳細な評価項目であり、評価対象外とした。</p> |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

e. 病原性（主要な動植物及び人に対する影響）

適用技術は、土着微生物によって土壌や地下水を一定レベルの嫌気状態として、有機塩素化合物を脱塩素化する DHC 属細菌等の有用微生物の増殖を促す技術要素を有し、DHC 属細菌の他、多様な細菌類の寄与をもってなされる。

i) DHC 属細菌の病原性

有機塩素化合物の完全脱塩素化を担う DHC 属細菌は、1997 年に Maymo-Gatell らの研究によって新規の脱塩素細菌 *Dehalococcoides ethenogenes* が記載されて以来十余年を経過し、我が国においても DHC 属細菌を含む集積培養体が「微生物によるバイオレメディエーション利用指針」の適合確認を受けるに至っており、その安全性について所定の確認がなされている状況にある。

（環境省の参考 URL:[http://www.env.go.jp/air/tech/bio/attach/05\\_02kurita.html](http://www.env.go.jp/air/tech/bio/attach/05_02kurita.html)）

ii) その他の構成細菌類に関する病原性

適用技術を用いることによって増殖が促される DHC 属細菌以外のその他一般細菌に対する病原性に関する調査は、現地パイロット試験での環境試料にて実施している。試験結果についての評価は、後述の「浄化技術の情報(3)d. 他の微生物群集への影響」に記載した。

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>f. 有害物質の産生性（主要な動植物及び人に対する影響）</p> <p>適用技術は、概ねメタン生成が図られる嫌気条件を設定するものであり、メタンガスの他、硫化水素等の有害ガスが少なからず生じることを現地パイロット試験において確認している（「3.6 井戸内ガス及び表層ガス測定」参照）。メタンは爆発性を有し、硫化水素は酸欠や中毒症状を引き起こすことが知られている。</p> <p>これらの有害ガスは、特に現地に設置した観測井戸内にて顕著な濃度で観測された。一方、地上に近い1m深度の土中での有害ガスは、井戸内での濃度と比較して極めて低濃度で検出され、概ね、地上に到る過程で希釈や分解による濃度低下が図られる、或いは土壌中での拡散速度が十分に低く拡散が制限される状況にあることを確認している（「3.6 井戸内ガス及び表層ガス測定」参照）。</p> <p>但し、高濃度に存在する調査地点も一部に特異的に存在したことから、土壌中に確率的に生じる亀裂等を通じた地上への導通等の存在には十分な注意が求められる。</p> <p>特に、浄化槽、地下室、地中梁、地中杭、電柱、地下配管等の地中構造物が存在する箇所は、その構造物の縁を通じて、地下と地上との導通路が意図せずに形成される場合がある。浄化想定地域内に複数存在することが明らかなこれらの地中構造物が存在する箇所に対し、適用技術を用いる場合には、設計／実施判断段階において慎重な検討が必要である。</p> <p>また地上部においても、床下や地下室内等の空間部及び地面がアスファルトやコンクリートで広域に被覆される場所等では、地中から有害ガスが徐々に蓄積される危険性が想定されることから、状況に応じた常時モニタリングや換気等の措置が求められる。この際、事業所等で対象エリアが広大である場合は、地中ガス吸引操作等の大規模且つ効率的な措置が運用可能である。</p> <p>上記の他、適用技術を用いる際は、適正な環境濃度測定及び大気汚染濃度測定等のモニタリング計画によって、事故の予防及び測定濃度結果に応じた作業の改善並びに周辺への対策（検出物質に応じた排ガス処理方法の決定）等を適切に実施こととする。</p> |
|  | <p>g. 利用微生物の特性に応じて、その他必要な情報</p> <p>特になし。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|  | <p>(4) 利用微生物の検出及び識別の方法並びにその感度、特異性及び信頼性</p> <p>適用技術においては、有機塩素化合物の脱塩素反応が主たる浄化機構であり、特に完全脱塩素を図るためには、DHC 属細菌の増殖を促すことが重要となる。このため、DHC 属細菌の寄与による分解を確認するため、この DHC 属細菌等のモニタリングを要する。</p> <p>現地パイロット試験における DHC 属細菌等に関するモニタリングは、DHC 属細菌関連遺伝子を指標とした方法で実施している。この DHC 属細菌関連遺伝子の検出及び識別の方法等に係る詳細な実施方法及びその結果については、「2. バイオトリタビリティ試験」、「3. 現地パイロット試験」、資料編 [2-6]、[2-7]、[3-4]に記載のとおりである。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

## (1) 浄化技術の内容

適用技術は、有機塩素化合物によって汚染された土壌や地下水に対し、空気（酸素）を遮断しながら微生物のエネルギー源や炭素源となる有機性資材や窒素／リン肥料を混合することで、土着の微生物によって土壌や地下水を一定レベルの嫌気状態とし、有機塩素化合物を脱塩素化する DHC 属細菌等の有用微生物の増殖を促す技術である。

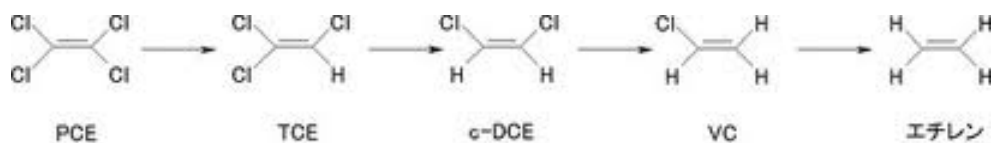
この技術は、“汚染物質”、“添加資材”、“土着分解菌”の3者が混合され DHC 属細菌の増殖が図られた時に初めてその効能が発揮される技術であるが、浄化想定地域における対象の地下水帯（第一帯水層）は、砂質土壌が充密された地層構造を有し、特にこれらの混合が困難な対象である。地上にて掘削土壌を混練するのとは異なり、井戸を介した単なる薬剤の注入のみでこの地下水帯にて混合状態を達成することが一般に困難であることは自明である。このため、適用技術を用いる際の浄化計画及び浄化の実施にあっては、関係者間にて“汚染物質”、“添加資材”、“土着分解菌”の3者の混合方法についての十分な討議を行う必要がある。

なお、現地パイロット試験では、上述の3者の混合を図るために地下水循環法を採用した。同試験では、対象の第一帯水層に薬剤を注入後、対象サイトの地下水を揚水井戸から汲み上げて少し離れた注入井戸に戻すことで地下水の人工循環流を形成し、この循環を通じて、同帯水層内における上記“汚染物質”、“添加資材”、“土着分解菌”の3者の混合を図った。続いて、一定の混合が図られたことを確認後、循環を停止し、以後、静置状態を保った嫌気状態にて DHC 属細菌や有機塩素化合物等の消長をモニタリングしている（「3. 現地パイロット試験」、資料編[3-4]参照）。

## (2) 分解生成物、分解経路等

適用技術における有機塩素化合物の分解生成物は、浄化想定地域における地下水中で観察される汚染物質種別によって推定が可能である。

### 【脱塩素化に係る主な反応経路】



浄化想定地域内の対象汚染物質は、TCE（一部に PCE を含む。）が地下に浸透し第一帯水層に達した後に脱塩素化が図られ、更に広域の地下水汚染に移行したものであるが、一連で観測される環境基準が設定されている物質は、PCE、TCE、DCE 及び VC であり、DCE（又は TCE）以下の有機塩素化合物が本サイトにおける分解生成物である（「平成 20 年度 地下水汚染機構解明調査報告書（平成 21 年 3 月 吹田市）」参照）。



|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>(3)作業区域における利用微生物の特性等</p> <p>a.生存能力、増殖能力及び生残性</p> <p>適用技術は、土着の DHC 属細菌等の分解微生物を有機性資材で活性化させ利用する技術であり、有機性資材等の枯渇によって分解微生物等は減衰し、浄化対策実施以前の状態に緩やかに移行する特徴を有している。</p> <p>このため、浄化想定地域の第一帯水層には、土着の DHC 属細菌が元来棲息していることが確認されている（「2. バイオトリタビリティ試験」、「3. 現地パイロット試験」、資料編 [2-6]、[2-7]、[3-4]参照）が、適用技術による浄化事業終了後には、DHC 属細菌の濃度が自然濃度レベルまで収束するものと考えられる。</p> <p>b.拡散の特性</p> <p>現地パイロット試験では、有機性資材を注入し地下水循環法にて混合を施した浄化施工エリアが、自然地下水流に沿って移動する現象が確認された（「3.5.3 地下水中の促進剤消費」参照）。</p> <p>但し、移動による脱塩素反応の阻害は確認されず、自然地下水流に応じて“汚染物質”、“有機性資材”、“土着分解菌”の全体がほぼ一様に移動したものと判断している。</p> <p>適用技術を浄化想定地域内において用いる際に浄化エリアを設計／設定する際は、個々のエリアでの自然地下水流向及びその速度を事前に十分に把握し、また、可能な限りカラム試験等を実施して汚染物質や投入資材類の拡散特性を把握したうえで、浄化エリアを設定し、管理精度を高めた浄化対策を実施することとする。</p> <p>一方、汚染エリアが人為的境界（敷地境界等）に近接する場合の浄化対策では、上記のとおり、自然地下水流を考慮すると、汚染物質や有機性資材を人為的境界外へ拡散させてしまう場合も想定される。このように浄化エリアを自由に設定できない状況では、観測井戸や対策井戸を人為的境界に沿って内接する様に設置し、不用意な境界外への拡散を防止する対策が求められる。</p> <p>なお、拡散防止対策として揚水を実施する場合は、揚水した地下水の性状（汚染濃度や病原菌種別／濃度等）や処理水量を考慮した適切な処理を図ることとする。</p> <p>c.分離源区域と作業区域の生存環境の比較、作業区域における増殖促進等のための選択圧</p> <p>本項は個々の外来菌に対する詳細な評価項目であり、評価対象外とした。</p> |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### d. 他の微生物群集への影響

適用技術は、土着微生物が“添加資材”を利用することで地下水環境が一定レベルの嫌気状態となり、その嫌気状態において TCE 等の有機塩素化合物を完全脱塩素化する DHC 属細菌等の有用微生物の増殖を促す方法であり、DHC 属細菌の他、多様な細菌類の寄与をもってなされる。土着菌を利用するバイオスティミュレーション技術の特徴は、これらの細菌類が“添加資材”の枯渇等によって減衰し、緩やかに浄化事業以前の状態に移行することである。

これら土着細菌群全般の消長は、概ね上記に示すとおりであるが、この現地自然由来の土着細菌の中には、ヒトや動植物に対して病原性を有するものが少なからず存在することは自明である。例えば、手足が泥だらけとなれば、適切に洗浄するという衛生概念は誰もが有するものであり、この概念の前提には自然界に普遍的に棲息する病原性細菌の存在がある。従って、適用技術を用いる際は、併せてこれら病原性細菌の消長に応じた適切な対応が求められ、十分な対策／体制をもって浄化対策事業に臨むこととする。

浄化想定地域内における土着細菌数を増大させた際や以後の減衰に到る病原性細菌の消長に関しては、現地パイロット試験において特に詳細な調査を実施し、その生態系等への影響や作業リスク等の労働衛生に資する評価を実施した。詳細な試験結果は、「3.5.4 地下水中の脱塩素化微生物及び一般病原性細菌等に関する解析結果」に示したとおりであり、その概要を以下に示す。

なお、現地パイロット試験実施時における施工・衛生管理は、通常のバイオスティミュレーション工法で採用される施工・衛生管理以上の態勢下で実施した。特に安全衛生面に留意して実施し、試験地への立入制限、消毒・殺菌等を心掛けた。また試験結果に応じて、管理レベルをその都度検証し、より高い精度での現場安全管理を図る様に努めた。

##### i) 病原性細菌定量解析結果

本評価では、ヒトに対する病原性細菌の存在等に主眼を置いた調査を実施した。浄化開始直前の試料では、日本細菌学会の病原体等安全取扱・管理指針（初版：平成 20 年 4 月）に規定される BSL2 相当のヒトに対する病原菌群の存在は、確認されなかった。一方、浄化開始後約 1 ヶ月経過後の地下水試料では、BSL2 相当のヒトに対する病原菌群が最大で  $1 \times 10^5$  コピー/mL 以上程度の濃度で検出された。以後、2 ヶ月を経過した試料、及び 4 ヶ月を経過した試料においては、 $10^4$  コピー/mL 未満程度以下の検出限界濃度近傍まで低下し、収束した。

この浄化の初期における一過性の病原リスクの増大に対しては、一定の配慮が必要と考えられるため、日本細菌学会の病原体等安全取扱・管理指針（初版：平成 20 年 4 月）第 1 章 6 項等に準じた適切なハンドリングと、微生物によるバイオレメディエーション利用指針の解説（平成 17 年 7 月 経済産業省・環境省）第六章等を参考とした浄化対策事業の実施体制・安全管理体制により浄化対策事業を遂行することとする。また浄化対策事業終了時には、通常の土壌・地下水中の病原体濃度レベルへの収束を確認するものとする。

#### 【病原性細菌の考え方】

病原性細菌 高リスクと想定されがちだが、我々の身近にも上記 BSL2 細菌を高濃度に含むものがある。最も身近なものとして、我々の排泄物たる便（べん）が挙げられる。腸内細菌を“善玉菌”と“悪玉菌”に分ける例えがあるが、この“悪玉菌”を BSL2 相当の病原性細菌と考えても差し支えない。便には総数で  $10^{12}$  個体/g 程度の細菌が存在し、“悪玉菌”は応じて高濃度で存在することが伺われる。

この“悪玉菌”の巣窟たる便に対し、我々は、素手での取扱いを避け、散乱や飛沫を防ぐ衛生的な対処を施し、作業の終了時には手を洗浄（殺菌）し、また悪臭を伴うものであれば、これを適切に処置する。この便に対する我々の日常的操作を、関係者が共有すべき BSL2 病原性細菌を含む環境試料の取り扱いに関する基本イメージとすることができる。

また、BSL2 細菌を多く含む試料も時間が経過すれば BSL2 細菌は減少する。更には  $10^4$  個体/g（土壌/地下水試料重量あたり）程度以下まで減少すれば、“概ね一般の土壌等の環境試料に含まれる BSL2 細菌濃度と同等”という専門知見もある。このレベルまで低下した状態の土壌であれば、応じたより簡便な取り扱いが可能である。

#### ii) 主要構成微生物に関する評価（詳細は資料編[4-1]参照）

本評価では、主要構成微生物のヒトや動植物に対する病原性細菌の存在等に主眼を置いた調査を実施した。結果、主要構成微生物中に、日本細菌学会の病原体等安全取扱・管理指針（初版：平成 20 年 4 月）に規定される BSL リストに記載される病原微生物、植物防疫法での規制対象微生物、及び家畜伝染病予防法での規制対象微生物に規定される病原性細菌は検出されなかった（微量の病原性細菌に関しては、上述の i) のとおり。）。

#### iii) 総括

病原リスクに関する限り、i) で明らかとなった一過性のヒトに対する病原性細菌に対する対処を適切に実施する必要がある。

また、適切な対処を行うためには、日本細菌学会の病原体等安全取扱・管理指針（初版：平成 20 年 4 月）第 1 章 6 項等に記載の方法を準用するとともに、微生物によるバイオレメディエーション利用指針の解説（平成 17 年 7 月 経済産業省・環境省）第六章等を参考とした浄化対策事業の実施体制・安全管理体制により浄化対策を遂行することが必要であり、また、適用技術を用いる場合は、周辺住民及び事業所の従業員を含む市民に対する十分な説明と理解を取得（公衆受容の取得）したうえで、浄化対策を実施することとする。

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>(4) 栄養物質等を添加する場合は、その内容</p> <p>a. 名称 (CAS 番号)、化学構造式、分子量</p> <p>適用技術を用いる際には、下記の“添加資材”を栄養物質として対象の帯水層に注入し混合する。</p> <p>製品名: EDC (イーディシー)</p> <p>製造者: エコサイクル株式会社／富山県富山市赤田 694-2</p> <p>概要: 成分としてアミノ酸 (グルタミン酸、アスパラギン酸等) やビタミン類を含有し、食品材料より製造される。</p> <p>参考 URL : <a href="http://www.ecocycle.co.jp/">http://www.ecocycle.co.jp/</a></p> <p>なお、栄養物質ではないが上記資材と共に下記を添加する。</p> <p>製品名: EDC 調整剤 (pH 緩衝剤)</p> <p>製造者: エコサイクル株式会社／富山県富山市赤田 694-2</p> <p>概要: 炭酸水素ナトリウム、炭酸ナトリウム</p> <p>b. 性状、分解性及び毒性等安全性</p> <p>EDC 及び EDC 調整剤 (pH 緩衝剤) 共に、特に毒性等は認められていない (資料編[4-2]に示す MSDS 参照)。</p> <p>c. 導入の目的</p> <p>EDC を導入することにより、土着微生物によって土壌や地下水を一定レベルの嫌気状態とし、更に TCE 等の有機塩素化合物を完全脱塩素化する DHC 属細菌等の増殖を促す。</p> <p>また、EDC 調整剤 (pH 緩衝剤) を併せて添加することにより、有機酸等の生成による不用意な pH 低下等を抑制し、完全脱塩素化の安定化を図る。</p> |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

d. 導入量、導入濃度及び導入頻度

EDC の導入量はサイト条件（汚染物質や電子受容体等の存在濃度）によって異なる。下記に、参考として現地パイロット試験での導入量を示す（詳細については、「3.2.3 初期促進剤溶液注入」）。

i) 導入量

EDC、EDC 調整剤（pH 緩衝剤）及び水道水を下記の分量で用意し、これらの混合溶液を作成した。この混合溶液を対象の第一帯水層の  $500 \text{ m}^3$ （ $100 \text{ m}^2 \times$  深さ  $5\text{m}$ ）に対して注入し、以後地下水循環法にて、帯水層中での循環混合を実施した。EDC 及び EDC 調整剤の導入量は、循環混合時の上部不飽和層への浸透等による逸損を考慮し、 $750 \text{ m}^3$ （ $100 \text{ m}^2 \times$  深さ  $7.5\text{m}$ ）の土量に対して、単位導入量  $1.5\text{kg}/\text{m}^3$  として設計した。

| 導入資材            | 導入量     |
|-----------------|---------|
| EDC             | 1125 kg |
| EDC 調整剤（pH 緩衝剤） | 1125 kg |
| 水道水             | 3944 kg |

ii) 導入の頻度

上記組成の注入溶液を対象の第一帯水層に 1 回のみ投入した。

e. 環境基準又は既存の法律等による規制等に関する情報

i) EDC の法令・基準等に係る情報（資料編[4-2]参照）

| 関連法令・基準等             | 規定事項 |
|----------------------|------|
| 土壌環境基準               | 指定なし |
| 地下水環境基準              | 指定なし |
| 化学物質の審査及び製造等の規制に関する法 | 指定なし |
| 水質汚濁防止法              | 指定なし |
| 食品衛生法                | 指定なし |

ii) EDC 調整剤（pH 緩衝剤）の法令・基準等に係る情報（資料編[4-2]参照）

| 関連法令・基準等              | 規定事項                                    |
|-----------------------|-----------------------------------------|
| 土壌環境基準                | 指定なし                                    |
| 地下水環境基準               | 指定なし                                    |
| 化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律 | 指定なし                                    |
| 水質汚濁防止法               | 指定なし                                    |
| 食品衛生法                 | 成分中の炭酸水素ナトリウム及び炭酸ナトリウムが食品添加物として指定されている。 |

f. 二次的な汚染の可能性がある場合は、その情報（物質名、毒性、予想される残留性、残留濃度、拡散性等）

特になし。

g. その他の副次的な影響

EDC の製造者の WEB サイトに、事業実施時の臭気生成に関する資料がある。

（参考 URL：<http://www.ecocycle.co.jp/data/pdf/bad-smell-besides.pdf>）

なお、現地パイロット試験においては、著しい pH の低下は観察されなかったが、嫌気条件下での微生物代謝においては、有機酸等の生成等に応じた pH の低下も予想される。実施において pH 低下が観察された場合には、重金属等のモニタリングの必要性を検討する。

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 作業区域及びその周辺の情報 | <p>(1) 作業区域等の特徴</p> <p>a. 位置</p> <p>浄化想定地域は、主に南吹田 2 丁目に立地する非鉄金属業の工場敷地及び同工場敷地から北西方向と北東方向の地下水流向に沿って拡がった有機塩素化合物による土壌・地下水汚染が存在する地域である（「平成 20 年度 地下水汚染機構解明調査報告書（平成 21 年 3 月 吹田市）」参照）。</p> <p>b. 現場における汚染原因等</p> <p>「平成 20 年度 地下水汚染機構解明調査報告書（平成 21 年 3 月 吹田市）」に記載のあるとおりであるが、その概要は以下のとおりである。</p> <p>南吹田 2 丁目に立地する非鉄金属業の工場では、昭和 36 年より平成 12 年まで、TCE 等の有機塩素化合物を洗浄剤として利用した経緯がある。この洗浄剤の不適切な取扱や管理によって汚染物質が同工場の地上部から地下に浸透した結果、同工場敷地を中心に PCE や TCE の高濃度地下汚染が生じた蓋然性が非常に高い。この地下に浸透した有機塩素化合物は、地下水中の嫌気環境下にて脱塩素化が図られ DCE を生じたが、これらは砂を主体とする浄化想定地域内の帯水層土壌への吸着が小さく、自然地下水流によって容易に拡散したものと考えられる。現地の自然地下水流は同工場を起点とすれば北西方向と北東方向への流れを有し、結果、それぞれの方向へ数百m以上に亘って、この DCE による広域の流域汚染が形成されるに至ったものと考えられる。</p> |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### c. 水文地質学的特性

「平成 20 年度 地下水汚染機構解明調査報告書（平成 21 年 3 月 吹田市）」に記載のあるとおりであるが、その概要は以下のとおりである。

浄化想定地域の汚染は、第一帯水層を構成する砂層（As1, 2, 3）の土壌とその間隙を占める地下水に存在する。この第一帯水層は、概ね GL-2m～GL-8m（標高では 0P+2m～0P-4m）に存在し、シルト層（Am, Ac2）の帯水層基底によって区分される。この第一帯水層の上部には、基底同様のシルト層（Ac1）が存在する場合もあるが、これは一様ではなく、随所に欠損が見られる。

また、この第一帯水層の地下水流向は一様の流れではなく、上記の南吹田 2 丁目に立地する非鉄金属業の工場敷地を起点とした場合、北西方向と北東方向への流れとなっている。

この北西方向と北東方向への流れは、その先の帯水層基底（Am, Ac2）の部分欠損により、第一帯水層の地下水が第二帯水層に落ち込むことにより生じる地下水流と想定され、本市浄水場の取水水源の汚染防止の観点からも、この深層への汚染拡大に懸念が生じている。

その他、現地パイロット試験では、上記の流れとは異なる局所流の存在を確認しているとともに、この帯水層を構成する砂分の有機物含有量が 0.1%以下であり、有機塩素化合物の中でも特に DCE の吸着能が低く容易な拡散を示唆する結果が得られている（資料編[5-1]参照）。なお、DCE の吸着能が低く容易な拡散を示唆されていることから、適用技術において用いる“添加資材”によっては、“添加資材”溶液の注入により汚染地下水が周囲に押し出される際に、DCE もほぼ地下水と同様の挙動で周囲に押し出される状況が想定され、単なる注入のみでは“添加資材”と“汚染物質”の混合が十分に図られない可能性があるため、「浄化技術の情報（1）浄化技術の内容」にも記述したとおり、本サイトの特徴としてその混合方法については、事前に十分な検討を要する。

#### d. 生息又は生息する主要な動植物

適用技術は、汚染地下水を胚胎する第一帯水層を対象とした原位置で実施する浄化技術であり、掘削などの大規模に地質構造を攪乱する作業を伴わず、基本的に地上部とは隔離された状況で実施される。したがって、基本的には地上部に生息する動植物への影響は極めて些少であると考えられる。

なお、適用技術を用いる際には、ボーリング作業による土壌採取や地下水採水作業を実施する地下の試料を地上に開放する場合もあるが、これらの環境試料の採取時には、この環境試料と地上の動植物の接触や暴露を防ぐ適切な措置を講ずることにより、その影響を最少とする。

具体的には、日本細菌学会の病原体等安全取扱・管理指針（初版：平成 20 年 4 月）に定められる BSL2 相当に準じた安全管理手法の踏襲により、地上の動植物への暴露影響を最少とする。



|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>e.土地利用の状況</p> <p>浄化想定地域の土地の利用状況は、地下水流向の上流側である南部に非鉄金属業の工場が立地する他、当該工場を起点とした地下水流向の下流側である北西方向と北東方向に住宅を中心とした建物、空地、駐車場、耕作地及び公園等が存在する。</p>                                                                                                                                                                                                                                    |
|  | <p>f.その他作業区域周辺の特徴</p> <p>浄化想定地域は、大阪外環状線鉄道事業北区間に該当し、流域汚染を横断する形で、新線及び新駅周辺の開発計画がある。</p> <p>(参考 URL : <a href="http://www.osr.co.jp/index.html">http://www.osr.co.jp/index.html</a>)</p> <p>また、浄化想定地域内には、一部低 pH (pH 3 前後) を示す領域が存在(「平成 20 年度 地下水汚染機構解明調査報告書(平成 21 年 3 月 吹田市)」参照)する。このため、適用技術を用いる際には、開発計画及び「利用微生物の状況(1) b. 好適生育環境の条件」に記載の水質条件 (pH 環境) に留意した浄化計画を構築する必要がある。</p> |

(2) 浄化対象物質の情報

以下に浄化想定地域における浄化対象物質の詳細を示す。

i) 1,1,2,2-テトラクロロエテン（慣用名：テトラクロロエチレン、PCE）

分子量：165.8

構造式：C2Cl4／Cl2C=CCl2

CAS 番号：127-18-4

毒性情報：刺激性、がん原性、肝機能障害等が報告されている。

| 法令・基準等  | 規定事項                                                                          |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 化審法     | 第2種特定化学物質                                                                     |
| 労働安全衛生法 | 第2種有機溶剤<br>作業環境評価基準<br>健康障害防止指針公表物質<br>名称等を表示すべき危険物及び有害物<br>名称等を通知すべき危険物及び有害物 |
| 労働基準法   | 疾病化学物質                                                                        |
| PRTR 法  | 第1種指定化学物質                                                                     |
| 土壤環境基準  | 0.01mg/L 以下                                                                   |
| 地下水環境基準 | 0.01mg/L 以下                                                                   |

ii) 1,1,2-トリクロロエテン（慣用名：トリクロロエチレン、TCE）

分子量：131.39

構造式：CHCl=CCl2

CAS 番号：79-01-6

毒性情報：刺激性、がん原性、肝機能障害等が報告されている。

| 法令・基準等  | 規定事項                                    |
|---------|-----------------------------------------|
| 化審法     | 第2種特定化学物質                               |
| 労働安全衛生法 | 第1種有機溶剤<br>名称等を表示すべき有害物<br>名称等を通知すべき有害物 |
| 労働基準法   | 疾病化学物質                                  |
| PRTR 法  | 第1種指定化学物質                               |
| 土壤環境基準  | 0.03mg/L 以下                             |
| 地下水環境基準 | 0.03mg/L 以下                             |

iii) 1,2-ジクロロエテン（慣用名：ジクロロエチレン、DCE）

分子量：96.95

構造式：ClCH=CHCl

CAS 番号：540-59-2

毒性情報：刺激性が報告されている。（発がん性を判断する有用な報告はない）

| 法令・基準等  | 規定事項                                    |
|---------|-----------------------------------------|
| 化審法     | 第2種監視化学物質                               |
| 労働安全衛生法 | 第1種有機溶剤<br>名称等を表示すべき有害物<br>名称等を通知すべき有害物 |
| 労働基準法   | 疾病化学物質                                  |
| PRTR 法  | 第1種指定化学物質                               |
| 土壤環境基準  | 0.04mg/L 以下（シス-1,2-ジクロロエチレンとして）         |
| 地下水環境基準 | 0.04mg/L 以下（1,2-ジクロロエチレンとして）            |

iv) クロロエテン（慣用名：クロロエチレン、塩化ビニル、VC）

分子量：62.5

構造式：ClCH=CH2

CAS 番号：75-01-4

毒性情報：刺激性、中枢神経障害、遺伝性疾患、発がん性の疑い等が報告されている。

| 法令・基準等  | 規定事項                                                                              |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 化審法     | 第2種監視化学物質                                                                         |
| 労働安全衛生法 | 特定化学物質第2類物質<br>特定化学物質特別管理物質<br>作業環境評価基準<br>名称等を表示すべき危険物及び有害物<br>名称等を通知すべき危険物及び有害物 |
| 労働基準法   | 疾病化学物質<br>がん原性化学物質                                                                |
| PRTR 法  | 第1種指定化学物質                                                                         |
| 土壤環境基準  | -                                                                                 |
| 地下水環境基準 | 0.002mg/L 以下（塩化ビニルモノマーとして）                                                        |

(3) 汚染状況

「平成 20 年度 地下水汚染機構解明調査報告書（平成 21 年 3 月 吹田市）」に記載のあるとおりであるが、その概要は以下のとおりである。

地下水における PCE と TCE の高濃度汚染は、南吹田 2 丁目に立地する非鉄金属業の工場敷地内に存在する。また、DCE 汚染は、北西方向と北東方向の 2 極化が見られ、北西部の高濃度汚染は同工場敷地内に、また北東部の高濃度汚染は同事業所敷地境界から 300m 程度離れて存在する。

一方、土壌における汚染は、上記の地下水汚染とほぼ同様の分布を示すが、PCE と TCE の高濃度汚染に関しては、同工場敷地内のより広い範囲での分布が観察される。また、DCE に関しては、同工場敷地内から連綿と続く汚染帯が北東方向に広がる分布が見られる。

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 生態系等への影響の総合評価 | <p>(1) 利用微生物が浄化作業の終了後に増殖する可能性。必要に応じ、作業区域外への影響に配慮した効果的な措置。</p> <p><u>i) 浄化作業終了後の細菌類の挙動</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・適用技術は、土着の分解微生物を有機性資材で活性化させ利用する技術であり、有機性資材等の枯渇によって分解微生物等は減衰し、浄化事業以前の状態に緩やかに移行する特徴を有するので、利用微生物が浄化作業の終了後に有意な増殖が図られることはない。</li> <li>・浄化想定地域の第一帯水層には、土着の DHC 属細菌が元来棲息していることが確認されているが、上記の適用技術が有する特徴から、適用技術による浄化事業終了後には、DHC 属細菌の濃度が自然濃度レベルまで収束するものと考えられる。</li> </ul> <p><u>ii) 作業区域外への影響</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・浄化期間が長期に亘る場合は、自然地下水流に沿った対象（汚染物質／添加資材／増殖微生物等）の移動を考慮する。個々のエリアでの自然地下水流向及びその速度を事前に十分に把握し、浄化エリアの設定／管理精度を高めた浄化を実施することとする。</li> <li>・汚染エリアが人為的境界（敷地境界等）に近接する等、浄化エリアを自由に設定できない状況では、観測井戸や対策井戸を人為的境界に沿って内接する様に設置し、不用意な境界外への拡散を防止する対策を実施することとする。</li> </ul> |
|               | <p>(2) 作業区域における他の微生物群集への影響。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・適用技術においては、有機性資材の地下水への注入により一時的に地下水中の土着の細菌叢と細菌数に増大が観測されるが、有機性資材等の枯渇によって減衰し、浄化対策実施以前の状態に緩やかに移行する特徴を有することから、他の微生物群集に与える影響は、些少であると考えられる。また、現地パイロット試験の結果においても、病原性細菌群に同様の消長が観測されており、病原リスクの増大は一時的であることが確認されている。なお、この一過性の病原リスクの増大に対しては、次項(3)に示す適切な措置を実施することとする。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

(3) 作業区域及びその周辺における主要な動植物及び人に対する、利用微生物の病原性、有害物質の産生性、その他有害な影響を及ぼす可能性。必要に応じ、生態系等への影響に配慮した効果的な措置。

- ・土着の分解微生物である DHC 属細菌の安全性は、国による所定の確認がなされているが、現地パイロット試験では、有機性資材の地下水への注入直後に BSL2 相当の病原細菌類の一時的な増大を確認している。この BSL2 病原菌が存在する期間中は、採水・採土等の取扱いを慎重に行い、試料の飛散やエアロゾルの拡散を防止する措置を講じる必要がある。また、作業者にもエアロゾル吸入防止等の保護具の着用と地上作業箇所での消毒等を徹底する必要がある。
- ・上記の対応にあっては、日本細菌学会の病原体等安全取扱・管理指針（初版：平成 20 年 4 月）第 1 章 6 項等の記載に準じて出現する病原性細菌に応じた適切な措置を講ずること及び微生物によるバイオレメディエーション利用指針の解説（平成 17 年 7 月 経済産業省・環境省）第六章等を参考とした浄化対策の実施体制・安全管理体制により浄化対策を遂行することとする。また、浄化対策の終了にあたっては、現地パイロット試験と同等の手法により病原性細菌の存在確認試験とその評価を実施し、その収束をもって浄化対策終了の判断を行うこととする。
- ・適用技術を用いる際には、一過性ではあるものの、メタンや硫化水素等の有害ガスを生成することが確認されており、モニタリング結果（存在濃度及び発生速度）に応じた適切な措置を講ずる必要がある。

(4) 浄化作業に伴う浄化対象物質（必要に応じ、中間生成物を含む。）の拡散の可能性。  
必要に応じ、作業区域外への影響に配慮した効果的な措置。

- ・適用技術を用いた浄化対策は、地下帯水層を対象として汚染物質の浄化を行うことから、作業区域から浄化対象物質が地上の周辺環境へ有意に拡散する可能性は低いものと考えられる。
- ・浄化想定地域における浄化対象物質については、PCE や TCE の分解中間生成物である DCE や VC を併せて設定しているが、この分解中間生成物は、適用技術を適切に用いることにより浄化が図られる。
- ・浄化想定地域内の対象となる第一帯水層中での浄化対象物質の拡散については、前述の (1) ii) のとおりであり、必要に応じて、浄化エリアの設定／管理精度を高めた浄化対策の実施及び観測井戸や浄化対策井戸の設置による不用意な浄化対象物質の拡散防止対策の実施を徹底することとする。
- ・その他、適用技術を用いた浄化対策実施中においては、採水等に伴い汲み上げた地下水中に浄化対象物質とともに病原性細菌の存在が疑われることから、汲み上げた地下水の地上でのばっ気等による処理は、周囲への浄化対象物質及び病原性細菌の拡散に対する慎重な対処が必要となる。この対処についても、前述の (3) のとおり、適切な実施体制・安全管理体制により遂行することとする。

(5) 浄化作業に当たって栄養物質等を添加する場合は、浄化作業の終了後の当該物質の有意な残留の可能性。必要に応じ、作業区域外への影響に配慮した効果的な措置。

- ・現地パイロット試験で利用した有機性資材である EDC は、易分解性（資料編[4-3]参照）とされ、現地パイロット試験において、その濃度低下と収束傾向が確認されていることから、浄化作業の終了後の有意な残留が起こる可能性は低いと考えられる。
- ・但し、有機性資材の混合が不十分であると、有意な残存を生ずる可能性や所定の浄化効果が得られないことが考えられる。この場合、浄化剤が足りないという理由が付され有機性資材の過剰な追添加が行われることにより、作業区域外への汚染拡散を引き起こす可能性も考えられる。このため、適用技術を用いた浄化対策の設計／計画時には、この混合精度を十分考慮することとする。
- ・また、浄化対策の終了にあたっては、地下水中の有機性資材濃度を、浄化対策終了判断項目の一つとして採用し、その濃度の収束傾向を確認後に浄化対策を終了することとする。



(6) 浄化作業の終了後の有害な分解生成物等の有意な残留の可能性。必要に応じ、作業区域外への影響に配慮した効果的な措置。

- ・適用技術を用いる際に生成する有害な分解生成物としては、メタンや硫化水素等の有害ガスが挙げられる。このガス発生は、有機性資材等の残留濃度に応じて生じる一過性のものであり、浄化作業の終了時に有機性資材等濃度の収束傾向を確認するので、浄化終了後にこれらガスの有意な発生が起こる可能性は低いと考えられる。
- ・一方、適用技術を用いた浄化対策実施中に生成する有害ガスに対しては、適切な措置を講ずる必要がある。有害ガスが地層のクラックや地下構造物の縁などを通じて地上の周辺環境に拡散する可能性がゼロではないことから、浄化想定地域内において適用技術を用いる場所の選定時には、該当地の土地利用、地層構造、地下構造物の存在等を十分に調査／検討して、浄化対策実施時における事故の設計段階での未然防止に努めることとする。
- ・土地利用が許せば、地上への有害ガス拡散の予防的措置として、地中に有害ガス回収システムを設置し、地上に拡散する前段で有害ガスを吸引除去する方法等の積極的な対処を含めた措置を併せて検討することとする。
- ・地上部付近において、有害ガスの滞留が危惧される床下構造を有する建屋或いは地上被覆構造物が存在する場合は、上述のガス回収システムの利用や常時ガスモニタリング等による適切な措置を講ずることとする。
- ・適用技術を用いた浄化対策実施時には、これら有害ガスの拡散を確認する表層ガス調査等を実施し、地上への拡散の未然防止の為にモニタリングを行い、有害ガスが検出された場合は、適切な措置（換気や地中ガス吸引操作等）を行うこととする。
- ・その他、現地パイロット試験においては、著しい pH の低下は観察されなかったが、嫌気条件下での微生物代謝においては、有機酸等の生成等に応じた pH の低下も予想される。浄化対策の実施において pH の低下が観察された場合には、重金属等のモニタリングの必要性を検討することとする。

## 総合評価

- ・適用技術は、有機性資材の投入によって一時的に地下水中の土着の分解微生物を増殖させ環境中の汚染物質の分解を誘導するが、その後の有機性資材等の枯渇によって土着の微生物は緩やかに減衰して以前の環境状態に推移する特徴を有する。また、大規模に掘削等を実施せずに現場の攪乱を最少とした施工を特徴とする。

総じて、浄化対策終了後の生態系等への影響は、他の浄化方法と比較して少ないと判断することができる。

- ・一方、適用技術を用いた浄化対策実施時の生態系等への影響に関しては、以下の懸念に対する一定の対策が必要と判断する。

- ① 一過性ではあるが、確認される病原性細菌の増大
- ② 一過性ではあるが、確認される有害ガスの増大
- ③ 有機物である有機性資材の不適切な注入・混合に起因する有機性資材及び有機塩素化合物の局所的残存及び浄化設定範囲外への拡散が及ぼす環境負荷の増大

上記の懸念を踏まえ、適用技術を用いる際には、適切な浄化計画を構築し、適切な対策を実施することとする。これにより、TCE等の有機塩素化合物による汚染リスクの十分な低減が期待できるとともに、環境への影響及び周辺住民や事業所の従業員を含む市民への健康影響に特段の配慮がなされた浄化対策の遂行が可能になるものと考えられる。

なお、リスクコミュニケーションの観点から、浄化想定地域内において適用技術を用いる際には、周辺住民及び事業所の従業員を含む市民に対する十分な説明と理解を取得（公衆受容の取得）したうえで、浄化対策を実施することとする。

### 4.3.4 評価結果の活用

4.3.3の評価結果については、利用指針の主旨に鑑み、今後、当該汚染地域において嫌氣的バイオスティミュレーション法を用いた浄化対策を行う際の事業者と周辺住民等とのコミュニケーションを進めるツールとして活用されるべきものであると考える。