

土壌・地下水汚染の潜在的規制物質の調査・対策方法の検討

○山崎祐二¹・中村太郎¹・島田曜輔¹・白石祐彰¹・浜本知美¹

・潜在的規制物質の調査・対策スキームの検討部会¹

¹ 土壌環境センター

1. はじめに

土壌汚染対策法で指定される26の特定有害物質は、法の枠組みで調査手法が定められており、措置についても選択可能な手法が示されている。一方、これら以外の有害物質に係る土壌・地下水汚染に関する調査・対策について定められた手法はなく、土壌汚染調査・対策に携わる技術者が遭遇する可能性がある潜在的な規制物質の調査・対策方法について参照できる検討方法があれば、未規制の有害物質による土壌汚染に遭遇した際や、当該物質が将来的に規制された際の対応が容易になる。既報では、将来的に土壌汚染に対する規制物質となりうる、国内環境中への排出量が多く土壌・地下水汚染を発生させている可能性が高い15種の有機化合物と6種の無機化合物の物質特性に応じた調査・対策の検討結果が報告された¹⁾。本報ではこれらに加えて、遭遇可能性から今後法規制の可能性のある主要物質、および将来的に遭遇機会や段階的な法規制の可能性のある物質を選定し、これらの物質を「潜在的規制物質」として地歴調査の留意点、調査・対策手法の検討の考え方を示し、現在は未規制の物質に遭遇した際に調査・対策手法の立案に寄与することを目的として検討を行った。

2. 検討方法

潜在的規制物質は、表1に示す定義に関するキーワードなどの検討を経て、「人への有害性があり、これまで広く・多く使用され、現在、問題が顕在化しつつあり、今後我々が遭遇する可能性がある潜在的リスクを持つ物質」と定義し、上記の定義に沿って2つの異なるアプローチにより対象物質を選定した。1つ目は、今後土壌汚染対策法に追加される可能性のある物質は既に既存法規制の対象物質である事が多いことから、PRTR法の第一種指定化学物質で、かつPOPs条約もしくは水道法の水道水質基準（要検討項目）の対象物質に該当する物質を選定した。2つ目は、将来的に遭遇機会や段階的な法規制がある物質を、化学物質の環境調査結果の年次報告書である環境省の「化学物質と環境」²⁾の平成17年～平成30年に掲載されている延べ411物質のうち、水質あるいは底質について調査されている物質（水質220物質、底質44物質）を対象に、曝露量、有害性について重みづけによる点数化を行い、それぞれの点数の積で段階的な法規制の可能性をスクリーニング評価した（表2）。また、点数化で同じ点数の場合は、環境調査で検出履歴がある物質と発がん性、環境リスク初期評価（健康）などによる定性的評価の選定条件1)～4)のいずれかに該当する物質を優先して選定した（表3）。

土壌汚染対策法では第一種～第三種特定有害物質の分類ごとに調査・対策方法が提示されており、選定した潜在的規制物質も揮発性や溶解性など物質特性に応じた物質群ごとに適切な調査・対策方法を提示できる可能性がある。そこで、選定した物質のうち有機化合物について、土壌汚染対策法の第一種および第三種特定有害物質、既報¹⁾において将来的な規制の可能性から選定された物質とともに、比重、溶解度、ヘンリー定数、オクタノール/水分配係数および蒸気圧の5物性を元に階層的クラスター分析³⁾を行い、物理・化学的特性ごとに類似した物質群に分類した。次に、各物質群について地歴調査の留意点や試料採取・調査方法と対策方法の考え方を整理した。また、得られた知見を基にして各物質群の代表物質についてケーススタディを行い、日本

表1 潜在的規制物質の定義に関するキーワード

分類	定義するうえで重要なキーワード
有害性	人体影響、生態系影響、曝露経路、分解生成物、生物蓄積性、法規制（国内外）、有害性に関するデータが少ない
量（普及度合い）	使用量、国内残存量（保管量）、使用履歴、流通量、国内での利用、利用頻度
遭遇機会	事故事例、広範囲拡散、蓄積性、残存性、難分解、社会的問題（警鐘）、健康被害顕在化、長距離移動性、実態報告・顕在化、法規制対象化

A Study of investigation and remediation methods for soil and groundwater contamination by potential regulated substances
Yuji Yamazaki¹, Taro Nakamura¹, Yosuke Shimada¹, Hiroaki Shiraiishi¹, Tomomi Hamamoto¹, and Study group of investigation
methods and remediation scheme for potential regulated substances¹ (1GEPC)

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

TEL 03-5215-5955 FAX 03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

表2 点数化による将来的に遭遇機会や段階的な法規制の可能性のある物質のスクリーニング評価方法

	点数	5点	4点	3点	2点	1点
1) 曝露量 (1~5点)	検出頻度 (%)	100~90%	90~70%	70~40%	40~1%	0%
2) 有害性 (1~5点+法規制対象は1点追加の最大6点)	発がん性 (IARC) ※1	1	2A	2B	3又はデータ無し	4
	環境リスク初期評価 (健康) ※2	A	B	C	—	データ無し
3つの指標のいずれか高い点数を採用	環境リスク初期評価 (生態) ※2	—	—	A	B	C又はデータ無し
	共通：法規制対象物質 (例：環境基準 (要調査項目)、水道法 (要検討項目) など) に該当 → 有害性の点数に1点追加。なお、化審法、PRTR法は加対象外					

※1 1 (ある)、2A (おそらくある)、2B (疑われる)、3 (分類できない)、4 (ない)

※2 A (詳細な評価を行う候補)、B (更なる関連情報の収集が必要)、C (更なる作業の必要性は低い)

表3 定性評価による将来的に遭遇機会や段階的な法規制の可能性のある物質のスクリーニング評価方法

選定条件	「化学物質と環境」の初期環境調査で検出履歴あり	環境リスク初期評価 (健康) がB以上 (またはデータなし)	発がん性がB以上 (または分類できない)	水道法、環境基準、大気汚染防止法による規制
1)	○	○	○	○
2)	○	○	○	—
3)	○	—	○	○
4)	○	○	—	○

国内で生じる汚染発生シナリオを想定して物質特性を鑑みた適用可能な試料採取・調査方法を提示するとともに、各種対策方法の適用性及び留意点を示した。なお、無機化合物は土壤中の存在形態で移動性が変わることから個別に調査することが必要と考え、本報では対象外とした。

3. 検討結果

3.1 潜在的規制物質の選定

1つ目のアプローチの検討の結果、PRTR法の第一種指定化学物質でかつPOPs条約もしくは水道法の水道水質基準 (要検討項目) の対象物質に該当する29物質を選定した (表4)。これらの物質は既に新たな製造・輸入等が禁止されているものもあった。2つ目のアプローチでは、それぞれ点数化された曝露量と有害性の積で16点以上の11物質と、15点で表3の定性評価条件1)~4)に該当する4物質の計15物質を選定した (表5)。

3.2 選定した化合物の分類

3.1で選定した合計44物質 (有機化合物41物質、無機化合物3物質) のうち有機化合物41物質、土壤汚染対策法の第一種特定有害物質13物質 (1,2-ジクロロエチレンはシス態、トランス態を個別に扱う)、第三種特

表4 既存の法規制から選定された物質 (29物質)

物質名	PRTR法 (第一種指定化学物質)	POPs条約	水道法水質基準 (要検討項目)
デカブロモジフェニルエーテル、エンドスルファン (α体)、ペンタクロロフェノール	○	○	
PFOS (ペルフルオロオクタンスルホン酸)、PFOSカリウム塩、PFOA (ペルフルオロオクタンスルホン酸)、PFOAアンモニウム塩	○	○	○
PFHxS (ペルフルオロヘキサンスルホン酸)	—	△ (審議中)	○
アセトアルデヒド、アニリン、ビスフェノールA、ノニルフェノール、エチレンジアミン四酢酸、キノリン、N,N-ジメチルアニリン、トリクロロ酢酸、ニトリロ三酢酸、2,4-トルエンジアミン、ヒドラジン、1,3-ブタジエン	○	—	○
アルドリン、ディルドリン、リンデン、DDT	—	○	—
アントラセン、ベンゾ (g, h, i) ペリレン、フタル酸ジブチル、フタル酸ジイソブチル、1,1,2,2-テトラクロロエタン	○	—	—

表 5 将来的に遭遇機会や段階的な法規制の可能性から選定された物質（15 物質）

物質名	点数化によるスクリーニング	定性評価によるスクリーニング
ベンゾピレン（ベンゾ(a)ピレン）	30 点	○
タリウム及びその化合物（タリウムとして）	25 点	
バナジウム及びその化合物（バナジウムとして）	25 点	○
コバルト及びその化合物（コバルトとして）	25 点	○
アジピン酸	20 点	
2,4-キシレノール	20 点	
フルオランテン	20 点	○
5-クロロ-2-(2,4-ジクロロフェノキシ)フェノール（トリクロサン）	20 点	
3,3'-ジクロロ-4,4'-ジアミノジフェニルメタン	18 点	○
2,4,6-トリプロモフェノール	18 点	
<i>p</i> -tert-ブチル安息香酸	16 点	
ブロモジクロロメタン	15 点	○
フェナントレン	15 点	○
N,N-ジメチルアセトアミド	15 点	○
ピリジン	15 点	○

定有害物質 8 物質（有機りん化合物は 4 物質を個別に扱う）および既報¹⁾で選定した 17 物質の計 79 物質について物性値を元に分類した。その結果、①高揮発・中溶解性物質群（第一種特定有害物質を含む揮発性有機化合物のクラスター）、②中揮発・高溶解性物質群（若干の揮発性を有する一方で土壌吸着性が低く液相部への移動性が高いクラスター）、③難揮発・中溶解性物質群（気相部への移動性に乏しい一方で、液相部への高い移動性を有するクラスター）、④低揮発・低溶解性物質群（溶解度、ヘンリー定数、蒸気圧ともに低く環境中の移動性に乏しいクラスター）、⑤難揮発・難溶解性物質群（④よりもさらに環境中の移動性に非常に乏しいと目されるクラスター）の 5 物質群に分類された（表 6）。なお、既報¹⁾では 38 物質を 4 物質群に分類したが、本報は将来の規制可能性まで考慮した 79 物質を、幅広い物性に即した 5 物質群として再定義して分類を確定させた。ここで既報¹⁾の 38 物質は本報の 5 物質群でエピクロロヒドリンを除き同等の種類の物質群に分類されている。ただし、表 6 の各物質群の物性値の範囲に示す通り、物質群の名称は物性の傾向を総合的に勘案して命名しており、「高」「中」「低」「難」とした各物質群の物性値の範囲は、重複があり明確に区分されていない。そのため、例えば N,N-ジメチルアニリンやエピクロロヒドリンは①高揮発・中溶解性物質群、②中揮発・高溶解性物質群物質群の各物性範囲の境界付近の物性値をもち、このような物質の試料採取・調査・対策方法の検討は、分類結果に関わらず後述の両物質群に対する検討の考え方から適否を判断することが望ましい。

3.3 地歴調査や試料採取・調査方法の検討

3.3.1 遭遇機会から推測される地歴調査の際の留意事項

潜在的規制物質による土壌・地下水汚染の遭遇機会を考える上では、使用用途や物性から地歴調査の際の留意事項をまとめておくことが望ましい。これらは物質群ではなく個別の物質ごとに検討することが望ましく、ここでは耐容一日摂取量（TDI）、無毒性量（NOAEL）および急性毒性の観点から、各物質群よりブロモジクロロメタン、リンデン、エチレンジアミン四酢酸、DDT、2,4-トルエンジアミンを一例として検討を行った。

1) ブロモジクロロメタン（①高揮発・中溶解性物質群）

常温液体で平成 14 年に水道水質基準が設定（0.03 mg/L 以下）されたトリハロメタンの一種である。浄水過程で水中のフミン質等と消毒剤の塩素が反応して生成し、生成量は原水中の臭素イオンの濃度による。製造工場などでの遭遇機会は考えにくく、浄水場跡地などでの遭遇機会の可能性が考えられる。

2) 2,4-トルエンジアミン（②中揮発・高溶解性物質群）

褐色、暗褐色の柱状結晶固体で大部分はポリウレタン樹脂に使用されるトルエンジイソシアネート（TDI）合成原料であり、化学工場等で遭遇可能性がある。樹脂製品から環境中への拡散の可能性は低いが、2,4-トルエンジアミンは水に易溶解性で環境中では容易に分解されず、広範囲に拡散し長期に渡り残存する懸念がある。

3) エチレンジアミン四酢酸（③難揮発・中溶解性物質群）

白色固体の物質で染料や薬品の安定剤、洗浄剤や食品添加物等として利用される。環境水中での分解性は低く、金属と錯体を形成するため単体の状態では存在しないと考えられる。PRTR 公表データではプラスチック製品製造業からの排出が多く、化学工業やプラスチック製品製造業の工場等で遭遇する可能性がある。

表 6 選定物質の分類結果と各物質群の物性値の範囲

物質群名	揮発性		溶解性
	ヘンリー定数 (Pa・m ³ /mol)	蒸気圧 (kPa)	溶解度 (mg/L)
①高揮発・中溶解性物質群 四塩化炭素, 1,2-ジクロロエタン, 1,1-ジクロロエチレン, ジクロロメタン, シス-1,2-ジクロロエチレン, トランス-1,2-ジクロロエチレン, テトラクロロエチレン, 1,1,2-トリクロロエタン, トリクロロエチレン, ベンゼン, 1,3-ジクロロプロペン, 1,1,1-トリクロロエタン, クロロエチレン, クロロホルム, 1,2-ジクロロプロパン, p-ジクロロベンゼン, トルエン, キシレン(<i>o</i> -体), キシレン(<i>m</i> -体), キシレン(<i>p</i> -体), エピクロロヒドリン, エチルベンゼン, スチレン, 酢酸ビニル, プロモジクロロメタン, 1,1,2,2-テトラクロロエタン, アセトアルデヒド, 1,3-ブタジエン, アントラセン	3.1 ~ 7.5×10 ³	1.7×10 ⁻¹ ~ 3.4×10 ²	1.2 ~ 6.6×10 ⁴
②中揮発・高溶解性物質群 1,4-ジオキサン, メチルジメトン, フェノール, ホルムアルデヒド, アクリルアミド, アジピン酸, 2,4-キシレンオール, p-tert-ブチル安息香酸, N,N-ジメチルアセトアミド, ピリジン, PFOA-アンモニウム塩, アニリン, キノリン, N,N-ジメチルアニリン, トリクロロ酢酸, 2,4-トルエンジアミン, ヒドラジン	7.9×10 ⁻⁶ ~ 5.8	8.1×10 ⁻⁶ ~ 5.2×10 ²	1.5×10 ³ ~ 易溶
③難揮発・中溶解性物質群 PFOS-カリウム塩, エチレンジアミン四酢酸, ニトリロ三酢酸	1.2×10 ⁻¹¹ ~ 3.1×10 ⁻⁴	6.6×10 ⁻¹⁴ ~ 4.0×10 ⁻⁶	5.0×10 ² ~ 5.9×10 ⁴
④低揮発・低溶解性物質群 フタル酸ジエチルヘキシル, チウラム, シマジン, チオベンカルブ, EPN, パラチオン, メチルパラチオン, ポリ塩化ビフェニル, ベンゾピレン(ベンゾ(a)ピレン), フルオランテン, 5-クロロ-2-(2,4-ジクロロフェノキシ)フェノール, 3,3'-ジクロロ-4,4'-ジアミノジフェニルメタン, 2,4,6-トリプロモフェノール, フェナントレン, エンドスルファン(α体), PFOS, PFOA, PFHxS, ベンタクロロフェノール, ビスフェノールA, ノニルフェノール, アルドリン, ディルドリン, リンデン, フタル酸ジブチル, フタル酸ジイソブチル	9.3×10 ⁻⁷ ~ 4.1×10 ¹	8.1×10 ⁻¹⁰ ~ 2.3×10 ⁻³	3.0×10 ⁻³ ~ 9.5×10 ³
⑤難揮発・難溶解性物質群 ダイオキシン類(2,3,7,8-TCDD), デカプロモジフェニルエーテル, DDT, ベンゾ(g,h,i)ペリレン	1.2×10 ⁻³ ~ 3.3	1.3×10 ⁻¹¹ ~ 1.5×10 ⁻⁸	5.5×10 ⁻⁶ ~ 1.4×10 ⁻⁴

※今回新たに選定した有機化合物を表中に赤字で記載した

4) リンデン (④低揮発・低溶解性物質群)

白色固体で主な用途は殺虫剤。1971年農薬登録失効、2010年農薬用途以外の製造等禁止。土壌中害虫および植物加害害虫に効果を示し、種子処理や作物保管用に使用された。分解性(半減期)は水中で3~300日、土壌で2~3年とされる⁴⁾。登録失効後の使用残農薬は一旦埋設され、後年に再度掘削して無害化処理が進められたが⁵⁾、埋設後に無害化処理された履歴のない土地などで遭遇する可能性がある。

5) DDT (⑤難揮発・難溶解性物質群)

無色結晶又は白か灰色の粉状物質。1971年農薬登録失効、1982年農薬用途以外の製造等禁止。過去に家庭用殺虫剤として使用された経緯があるほか、分解性(半減期)は水中で1年、土壌で15年⁶⁾とされ、化学工場や農薬工場などの製造工場だけでなく、農薬として使用及び埋設された市街地でも遭遇機会があると考えられる。

3.3.2 試料採取・調査方法の検討

各物質群に対する試料採取・調査方法の検討結果を表7に整理した。①高揮発・中溶解性物質群は、土壌汚染対策法の第一種特定有害物質の多くが含まれたことから、第一種特定有害物質と同様の土壌ガス調査を適用できる可能性が高い。ただし、アントラセンについては、揮発性を有するため本群に分類されたものの、常温固体で溶解性も比較的低いため、調査方法の選択および結果の取り扱いに留意が必要である。②中揮発・高溶解性物質群および④低揮発・低溶解性物質群は、揮発性が高くないため土壌ガスによる汚染の把握は物質ごとに確認することが望ましい。③難揮発・中溶解性物質群および⑤難揮発・難溶解性物質群は、揮発性が極めて低いことから土壌ガスによる汚染の把握はいずれも困難である。②中揮発・高溶解性物質群は水への溶解性が高く中程度のオクタノール/水分配係数であることから、土壌溶出量および地下水濃度での汚染の把握が適しており、1,4-ジオキサンによる土壌汚染に関する技術的助言⁷⁾に示される方法などが適用できる可能性がある。一方、③難揮発・中溶解性物質群はオクタノール/水分配係数が極めて小さく土壌吸着性が低いことから、主として地下水濃度による汚染状況の把握が望ましい。④低揮発・低溶解性物質群、⑤難揮発・難溶解性物質群は、水への溶解性が極めて低く、土壌への吸着性が高い性質を勘案し、ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル⁸⁾に示される試料採取の考え方が有効である可能性がある。なお、底質調査方法は物性に合わせた試料の抽出方法が、土壌溶出量調査および地下水調査では溶解性が低い物質でも評価が可能であることが示されてお

り^{9),10)}、これらはいずれの物質群についても適用できると判断される。なお、今回選定した各物質の分析方法は、化学物質分析方法開発調査報告書²⁾、底質調査方法⁸⁾、要調査項目等調査マニュアル¹¹⁾、外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル¹²⁾及び環境基準等に係る分析方法等のいずれかに水質および底質の分析方法が示されており、これらを参照することができる。

表7 各物質群に対する試料採取・調査方法の適否

		①高揮発・ 中溶解性物質群	②中揮発・ 高溶解性物質群	③難揮発・ 中溶解性物質群	④低揮発・ 低溶解性物質群	⑤難揮発・ 難溶解性物質群
土壌ガス調査（環告16号） ¹⁰⁾		○	△	×	△	×
土壌 調査	溶出量（環告18号） ¹⁰⁾	○	○	○	○	○
	含有量（環告19号） ¹⁰⁾	—	—	—	—	—
	底質調査方法 ⁸⁾	○	○	○	○	○
	DXNs 土壌調査マニュアル ⁹⁾	×	×	×	△	△
地下水調査（環告17号） ¹⁰⁾		○	○	○	○	○

凡例：○、適用（流用）可能、△、物質ごとに適用可否について要確認、×、適用不可、—適用外

3.3.3 対策方法の検討

各物質群に対する各種対策方法の適用性の検討結果を表8に整理した。①高揮発・中溶解性物質群は、土壌汚染対策法ガイドライン⁹⁾に示す第一種特定有害物質と同様の方法を適用できる可能性が高い。土壌ガス吸引、エアースパージングおよびオンサイト抽出処理は①高揮発・中溶解性物質群に有効であるが、他の物質群に対しては揮発性や沸点の特性から適用性が低いと判断される。②中揮発・高溶解性物質群および③難揮発・中溶解性物質群は、土壌に低吸着である特性から地下水揚水、原位置およびオンサイト土壌洗浄を用いた対策方法が有効であると考えられる。④低揮発・低溶解性物質群および⑤難揮発・難溶解性物質群は、移動性の低い特性から、地下水揚水は適用可能であるが、対策期間が長期化する懸念があり、適用について慎重に検討する必要がある。一方で、これらの物質群にはPCBやダイオキシン類に用いられている洗浄処理や熱処理などの方法¹³⁾が有効であると判断された。なお、物性値から適用可能性ありと評価した工法の採用を計画する場合には、物質ごとに適用例を調査するとともに室内および現地試験等で検討を行うなど事前に十分な検討を行うことが望ましい。また、生物処理は物性値によらず個別に生分解性が確認されているかにより適否を判断する必要がある（例えば③難揮発・中溶解性物質群で今回新たに選定した3物質は生物難分解との報告がある）。

表8 各物質群に対する対策方法の適否

	①高揮発・ 中溶解性物質群	②中揮発・ 高溶解性物質群	③難揮発・ 中溶解性物質群	④低揮発・ 低溶解性物質群	⑤難揮発・ 難溶解性物質群
土壌ガス吸引	◎	▽	×	▽	×
地下水揚水	◎	◎	◎	△	△
エアースパージング	◎	×	×	×	×
化学（酸化・還元）処理	◎	○	○	▽	▽
生物処理	○	○	△	△	△
原位置土壌洗浄	○	◎	◎	×	×
オンサイト洗浄処理	○	◎	◎	◎	◎
オンサイト熱処理	◎	◎	○	◎	○
オンサイト抽出処理	○	×	×	×	×

凡例：◎、適用可能、○、一部は適用可能/物性より適用可能性あり、△、物性より適用可能性あり、▽、物性より一部に適用可能性あり、×、適用不可

3.4 ケーススタディ

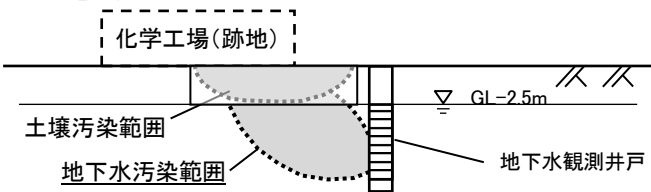
今回検討した物質のうち、土壌汚染対策法の特種有害物質が含まれない物質群である③難揮発・中溶解性物質群のエチレンジアミン四酢酸を例にケーススタディを実施した（表9）。ケーススタディは、物質特性や用途を踏まえて汚染の発生、拡散状況を設定し、これに対応する調査・対策方法を提示した。

4. まとめ

本報文では、法規制の状況、各物質の毒性、環境中の検出例（曝露可能性）の観点から将来的に土壌汚染問題で遭遇する可能性のある潜在的規制物質を選定した。これらを各物質の物性値に応じて5物質群に分類し、

各物質群の特性に応じた調査・対策方法の検討結果を提示した。また、代表物質について地歴調査の留意点および想定汚染事例でのケーススタディから調査・対策の具体例をそれぞれ示し、対応方法の考え方を取りまとめた。今回新たに検討対象とした41物質はそれぞれが固有の物質特性を持つものの、各物質の主要な物性値に着目することで土壌・地下水環境中の挙動を大枠で捉えることが可能であった。本報で取り上げた化合物のみならず土壌汚染対策法の規制対象外である他の化合物の調査・対策を検討する際にも、その物性値から本報で示した各物質群への分類とそれに応じた調査・対策手法の検討の考え方を適用することで、実効性のある調査・対策計画立案に役立つと期待される。

表9 エチレンジアミン四酢酸（③難揮発・中溶解性物質群）に関するケーススタディ

項目	ケーススタディ（太字は本物質群に共通の項目、その他は物質特有の項目）
背景	・プラスチック製品製造工場廃止に伴う地歴調査のヒアリングにて、エチレンジアミン四酢酸の原料使用と漏洩の履歴を確認した
物性から想定した土壌・地下水中の対象物質の挙動	<ul style="list-style-type: none"> ・常温固体で難揮発性のため漏洩時に多くが表層に留まるものの、中溶解性かつ低吸着性のため一部が雨水等に溶解して浸透・拡散している ・水中で加水分解、生分解しないため、工場廃止後も地下水に残留している ・環境中の重金属イオンと錯塩を形成し、酸の状態ではほとんど存在していない
調査方法	・ 固体のため表層の土壌溶出量を調査、中程度の溶解性のため地下水調査を実施
試料採取・分析と留意点	・要調査項目等調査マニュアル ¹¹⁾ に示す方法に準拠し、地下水は共栓付きガラスビン等に採取して約4℃で保管、土壌は夾雑物を除去後、水分を出来るだけ除いたのち冷凍保存。分析法はメチルエステル誘導体化GC/MSで分析
調査結果 (土壌・地下水の状況)	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌表層調査における土壌溶出量の検液で水道水質基準（要検討項目）目標値（0.5 mg/L）の超過を確認。深度別ボーリング調査でGL-2.0 mまで検出 ・近傍の観測井戸の地下水においても、地下水濃度で水道水質基準（要検討項目）の超過を確認 
対策方法の立案と実施	<ul style="list-style-type: none"> ・漏洩箇所に残っている汚染に対して掘削除去 ・低吸着性のため汚染地下水の揚水処理。汚染水はオゾン分解と活性炭処理を組み合わせて除去¹⁴⁾ ・化学処理（フェントン法）の原位置浄化の適用可能性を現地試験で評価 ・好気、嫌気とも生分解性は低く生物処理は適用不可と判断

参考文献

- 1) 大石雅也・山崎祐二・青木鉦二・大久保高志・物質特性に応じた土壌・地下水汚染の調査・対策方法の検討部会（2021）：物質特性に応じた土壌・地下水汚染の調査・対策方法の検討～選定した有機化合物の調査・対策方法とケーススタディ～，第26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，S5-10.
- 2) 環境省環境保健部環境安全課，化学物質と環境（各年度版）
- 3) 清水裕士（2016）：フリーの統計分析ソフトHAD：機能の紹介と統計学習・教育，研究実践における利用方法の提案，メディア・情報・コミュニケーション研究，1，59-73.
- 4) 環境省大臣官房環境保健部環境安全課（2021）：POPs 残留性有機汚染物質パンフレット.
- 5) 環境省水・大気環境局土壌環境課農薬環境管理室（2008）：埋設農薬調査・掘削等マニュアル.
- 6) 環境省（2002）：POPs 対策検討会（第2回）参考資料 8-2 POPs 有害性等データシート（暫定版）.
- 7) 環境省水・大気環境局長(2016)：土壌の汚染に係る環境基準の追加及び地下水の水質汚濁に係る環境基準における項目名の変更並びに土壌汚染対策法の特定有害物質の追加等に伴う土壌汚染対策法の運用について.
- 8) 環境省水・大気環境局土壌環境課（2008）：ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル.
- 9) 環境省水・大気環境局（2012）：底質調査方法
- 10) 環境省水・大気環境局土壌環境課（2021）：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.
- 11) 環境省水・大気環境局 水環境課：要調査項目等調査マニュアル（平成11年～平成29年）
- 12) 環境庁水質保全局水質管理課（1998）：外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル
- 13) 環境省水・大気環境局土壌環境課（2011）：ダイオキシン類基準不適合土壌の処理に関するガイドライン.
- 14) Verschuere, K. (2001): Handbook of environmental data on organic chemicals, 4th Ed., Van Nostrand Reinhold Co.