

平成 19 年度  
土壌汚染対策に関する動向調査  
報告書

平成 20 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会  
社団法人 産業と環境の会



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp/>





## 序

近年、技術の発展と社会との共存に対する課題がクローズアップされ、機械工業においても環境問題、安全問題が注目を浴びるようになってきております。環境問題では、京都議定書の第一約束期間が開始し、排出権取引やCDMなどの柔軟性措置に関連した新ビジネスの動きも本格化し、政府や産業界は温室効果ガスの削減目標の達成に向けた取り組みを強化しているところです。また、欧州化学物質規制をはじめとする環境規制も一部が発効し、その対応策が新たな課題であるとともに、新たなビジネスチャンスとも考えられます。

一方、安全問題も、機械類の安全性に関する国際規格の制定も踏まえて、平成19年には厚生労働省の「機械の包括的な安全基準に関する指針」の改正に伴い、リスクアセスメント及びその結果に基づく措置の実施が事業者の努力義務として規定されるなど、機械工業にとってきわめて重要な課題となっております。

海外では欧米諸国を中心に環境・安全に配慮した機会を求める気運の高まりから、それに伴う基準、法整備も進みつつあり、グローバルな事業展開を進めている我が国機械工業にとって、この動きに遅れることは死活問題であり早急な対応が求められております。

こうした内外の情勢に対応するため、当会では環境問題や機械安全に係わる事業を発展させて、環境・社会との共存を重視する機械工業のあり方を追求するため、早期からこの課題に取組み調査研究を行って参りました。平成19年度には、海外環境動向に関する情報の収集と分析、それぞれの機械の環境・安全対策の策定など具体的課題を掲げて活動を進めてきました。

こうした背景に鑑み、当会では機械工業の環境・安全対策のテーマの一つとして社団法人産業と環境の会に「土壌汚染対策に関する動向調査」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚です。

平成20年3月

社団法人 日本機械工業連合会  
会長 金井 務



## 序

平成15年2月に土壤汚染対策法が施行されて以降、土壤汚染対策が急増しております。現在の対策技術の中では掘削技術が最も多く利用されておりますが、対策に高額な費用を要することや掘削後の搬出土壤により汚染が拡散するなどの課題があります。社会的コストを考慮すれば、汚染の程度や土地利用状況に応じた合理的で適切な対策の推進が望ましく、そのために土壤汚染対策技術の抱える課題や産業界のニーズを把握することが重要と考えられます。

一方、鉱油類については、土壤汚染対策法の対象物質にはなっておりませんが、平成18年3月には環境省におきまして、鉱油類由来の土壤汚染調査対策についてまとめた「油汚染対策ガイドライン」が策定されました。当該ガイドラインの産業界における活用状況などについて把握することは、今後の鉱油類由来土壤汚染の対策を進めていく上で重要であるといえます。

以上のような状況を踏まえまして、当会では、土壤汚染対策に関する動向を調査するため、産業界主要企業に対するアンケート調査を含めた調査を実施致しました。土壤汚染対策技術については、最新動向を明らかにし、代表的な対策技術についての具体的な課題やニーズを把握し、今後の方向性を考察致しました。また、鉱油類由来の土壤汚染対策の現状や課題、油汚染対策ガイドライン活用状況等について考察致しました。また、学識者および産業界の有識者で構成する「油汚染土壤等対策検討委員会」を設置し、全体について検討をおこないました。

本報告書が土壤汚染対策に携わる関係各位に対しまして、今後の効果的な環境対策のあり方を検討していく上での一助となれば幸甚です。

最後に、本事業の運営にあたり多大なご協力を頂きました方々に、心より御礼申し上げる次第であります。

平成20年3月

社団法人 産業と環境の会  
会長 関澤秀哲



## 油汚染土壌等対策検討委員会 委員名簿

- 委員長 山口梅太郎 東京大学名誉教授・社団法人全国石油協会会長
- 委員 会田 政幸 新日本石油株式会社 社会環境安全部  
社会環境推進グループチーフスタッフ
- 委員 奥村 彰 社団法人日本経済団体連合会  
環境安全委員会環境リスク対策部環境管理WG座長
- 委員 栗田 典明 株式会社東芝 環境推進部参事
- 委員 小松 和史 三友プラントサービス株式会社 代表取締役社長
- 委員 小山 靖 株式会社IHI 都市開発セクター  
プロパティマネジメントグループ部長
- 委員 正保 剛 社団法人日本鉄鋼連盟 環境・エネルギー政策委員会  
環境保全委員会土壌・水質分科会主査
- 委員 平沢 泉 早稲田大学理工学部応用化学科教授
- 委員 柳 憲一郎 明治大学法科大学院教授
- 委員 山川公一郎 株式会社竹中工務店 土壌環境本部副本部長

(氏名五十音順)



# 目次

第1章 土壤汚染対策技術の現状 .....	1
1.1 土壤汚染対策技術の動向調査にあたって .....	1
1.2 土壤汚染対策技術の動向調査 .....	2
1.2.1 土壤中の汚染物質の挙動 .....	2
1.2.2 土壤汚染分析・調査技術の動向 .....	4
1.2.3 新たな土壤汚染調査技術 .....	9
1.2.4 土壤汚染に関する対策技術の動向 .....	10
1.2.5 状況に応じた土壤汚染対策技術の選定 .....	12
1.2.6 土壤汚染対策技術の課題と新たな展開 .....	23
1.2.7 環境省などによる研究支援、技術の実証評価など .....	36
第2章 鉱油類由来の土壤汚染対策について .....	37
2.1 鉱油類由来の土壤汚染対策に関する調査にあたって .....	37
2.2 鉱油類由来汚染土壤に関する検討経緯 .....	38
2.3 油汚染対策ガイドラインについて .....	39
2.3.1 油汚染対策ガイドラインの対象物質 .....	39
2.3.2 油汚染対策ガイドラインの対象地域 .....	40
2.3.3 鉱油類由来汚染に対する対応の考え方 .....	41
2.3.4 状況把握調査方法 .....	42
2.3.5 技術対策方法 .....	44
2.4 鉱油類由来の土壤汚染対策のあり方 .....	54
2.4.1 鉱油類由来の土壤汚染対策の現状 .....	54
2.4.2 鉱油類由来の土壤汚染防止措置 .....	55
2.4.3 鉱油類について .....	56
2.4.4 鉱油類汚染の判断基準 .....	56
2.4.5 油汚染に関する技術について .....	58

第3章 油土壌汚染等調査対策に関するアンケート調査 .....	59
3.1 本アンケート調査の概要 .....	59
3.2 本アンケート調査の調査状況 .....	60
3.2.1 実施期間および調査方法 .....	60
3.2.2 調査対象 .....	60
3.2.3 回収数 .....	60
3.2.4 アンケート調査結果の集計概要 .....	60
3.3 本アンケート調査の集計結果 .....	61
第4章 土壌汚染対策の課題とニーズについて .....	84
4.1 土壌汚染対策技術について .....	84
4.1.1 土壌汚染対策技術の動向 .....	84
4.1.2 土壌汚染対策技術の課題とニーズ .....	85
4.2 鉱油類由来の土壌汚染対策の動向 .....	86
4.2.1 鉱油類由来の土壌汚染対策の動向 .....	86
4.2.2 油汚染対策ガイドラインの運用状況と今後の方向性 .....	87
4.3 土壌汚染対策の今後の動向と提言 .....	88
参考文献 .....	90
参考資料 .....	92

# 第 1 章 土壤汚染対策技術の現状

## 1.1 土壤汚染対策技術の動向調査にあたって

平成 15 年 2 月に人の健康保護を目的に土壤汚染対策法が施行されたが、同法の施行規則においては、土地の利用状況等に応じて、指定区域への立入禁止、汚染土壤の覆土・舗装といった方法を適切に講じることなど土壤汚染対策技術についての注意事項が示されている。覆土措置では、汚染土壤の存在する範囲の上面を砂利等の仕切りにより覆った上で、厚さが 50 cm 以上の汚染されていない土壤の層により覆うことなどの条件がある。

土壤汚染対策技術について、現行の土壤汚染対策技術のうち最も多く使用されているのは掘削除去であるが、これにはいくつか理由がある。汚染を完全に除去できる、対策期間が短期であるという掘削除去のメリットの部分が求められるということである。それに対して例えば、封じ込め技術の場合、土地購入者に対し汚染を管理する責任が引き継がれることになる。さらに、土地評価額が減少する可能性や、土壤汚染が表出してしまうことへの不安が拭えないことになる。原位置で浄化する技術については、汚染対象物質に制限があることや対策期間が長いために土地取引の機会を逃してしまうこと、土壤汚染が完全に除去されたという確信が得られないことなどが、掘削除去ほど対策がおこなわれていない要因となっている。一方で、掘削除去には、掘削後の土壤浄化に多大なコストがかかることや、掘削後の搬出土壤の受け入れ先に限界があるというデメリットの部分が、土壤汚染対策の拡大にともなう懸念される課題の一つとなっている。

土壤汚染対策技術を選定する上で考慮される要因としては、汚染物質や土壤に起因する要因、対策に要するコストや対策期間など技術的な要因、土地取引などに第三者が関わることにより生じる外的な要因等が考えられる。これらの観点について整理することは土壤汚染対策技術を効率よく選定するために必要であると考えられる。

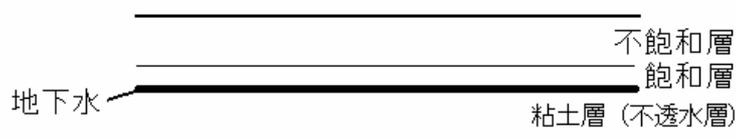
本章では以上を背景に、日本における現状の土壤汚染調査対策技術の動向および対策技術を選定する上で考慮される点を抽出し、日本の産業界で求められているニーズを推測することを目的とする調査をおこなった。文献およびインターネット、関係者からのヒアリング等をもとに、最近の土壤汚染対策状況、対策技術を選定する上で考慮されうる観点を、汚染的要因、技術的要因、外的要因、その他の要因から把握した。その上で産業界の土壤汚染対策技術に関する課題およびニーズを推測し、それらに対応しうる最近の技術開発状況を紹介した。

## 1.2 土壤汚染対策技術の動向調査

### 1.2.1 土壤中の汚染物質の挙動

土壤汚染を効果的かつ経済的に対策する際には、まず各汚染物質の物性と地中挙動を認識し、汚染の拡散状況を予測しておく必要がある。

土壤は、**図 1-1** のように一般的に地表から、不飽和層 飽和層 地下水 粘土層(不透水層)という構造になっている。(ただし地下水は不飽和層、飽和層の内部を通ることもある)。



**図 1-1 土壤の断面図**

出典：「地下水汚染論 その基礎と応用」(1994)

土壤汚染対策法において特定有害物質に挙げられている物質は、VOC(第一種特定有害物質)、重金属類(第二種特定有害物質)、農薬類(第三種特定有害物質)の3種類がある。

重金属は、比重4以上と重く土壤に吸着されやすいので、一般的に表層付近に滞留する。

VOCは土中においては液体あるいは気体で存在しており、地中での挙動は複雑である。VOCは水に溶けやすく、粘性が低いので土壤中を浸透しやすく、地下水汚染も引き起こしやすい。また、揮発性があるので土壤中の空気を汚染する。VOCを地表に流出させた場合、地表から不飽和層、飽和層を鉛直方向に浸透し、地下水水面付近で地下水と水平方向に流れる。水に溶けない物質の場合、非水溶性流体(NAPL: Non-Aqueous Phase Liquid)という汚染物質自体が独立した液層を形成する。NAPLは比重の違いにより異なる挙動を示す。水より小さい比重を持つ物質(石油系)の場合、地下水面上に留まりゆっくり水平方向に動く。水より大きい比重をもつ物質(トリクロロエチレンなど)の場合、地下水を通り、不透水層や粘土層に達するまで流れの影響を受けつつ沈んでいき、到達後は水平方向に移動する。岩盤や粘土層の内部にまで浸透・吸着することもある。不飽和層におけるVOCの挙動は、主に液体として鉛直方向に浸透していくが、降雨により涵養されることがあり、移動中に揮発して土壤中を上昇することもある。ここでは、液体の移動に加えて、気体の移動も考慮する必要がある。飽和層においては、地下水からの間接的な流れの影響を受け、鉛直方向以外の動きも持つ。以上をまとめると汚染物質の挙動は**図 1-2** のようになる。

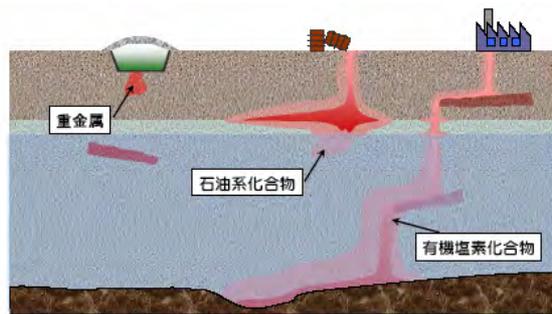


図 1-2 土壌中の化学物質の汚染形態

出典:「土壌環境汚染の基礎と解析の考え方」(Web セミナー)

土壌不飽和層中の汚染物質は主に次の 4 つの形態で存在している。飽和層では、分子は気体で存在できないため、1~3 までの存在形態となる。

- 1, NAPL を形成している。
- 2, 土壌中の水に溶解している。
- 3, 土壌粒子に吸着している。
- 4, 土壌中に気体として存在している。

土壌中の汚染物質の移動については、次のような特徴がある。

- 1, 大気中や水中とは異なり、汚染物質の希釈効果が小さい。
- 2, 土壌中の移動が遅く、汚染されると回復までに時間がかかる。
- 3, 非常に不均一かつ複雑な系である。

土壌中の汚染物質の移動については、汚染のモデルをもとにシミュレーション解析することが可能である。具体的なシミュレーション手法には、以下のようなものがある。

表 1-1 代表的な移流分散および多層流解析コード

プログラム名	開発元 / 配布元	次元	備考
Dtransu 2(3)D-EL	岡山大学、ダイヤコンサルタント、三菱マテリアル	3	F
TOUGH	LBL	3	I
SUTRA	USGS	2	F
UTCHEM	Center for Petroleum and Geosystem Engineering, UT at Austin	3	D
MODPATH	USGS	2	D
SWICHA	Geo Trans / IGWMC	3	F
SWIFT	SNL	2	D
RAND 3D	Engineering Technologies Associates	3	R

出典:「土壌・地下水汚染の調査・予測・対策」(2003)

(注) D:差分法、F:有限要素法、I:積分差分法、R:ランダムウォーク法

## 1.2.2 土壤汚染分析・調査技術の動向

土壤汚染対策は工場や事業所の敷地内にどのような汚染があるかを調査することから始まる。土壤汚染調査をおこなうことで、汚染発生源を究明し、適切な対策を講じるために必要な情報を得ることが可能である。土壤汚染調査の流れを以下に示す。

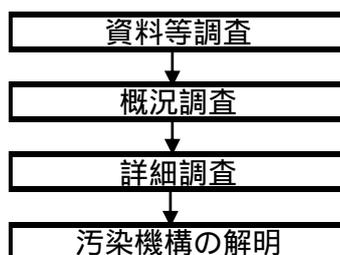


図 1-3 土壤汚染調査の全体フロー

出典：「土壤汚染対策法に基づく調査および措置の技術的手法の解説」(2003)

### ・資料等調査

事業所の履歴、土地利用や有害物質の使用状況、排水路、漏洩事故歴などを調べ、有害物質の汚染の可能性がある箇所を把握する。また、地形や地質など、汚染土周辺の土地履歴を調べる。

### ・概況調査

概況調査は、対象地での汚染の概況を把握するためにおこなう。土壤汚染の可能性がある土地については、試料採取による調査をおこなう。土壤汚染調査技術は、用途によって土壤表層調査、土壤ガス調査、及び地下水調査を用いる。

第一種特定有害物質（VOC を含む）については、対象区画において地表から 1 m 下の土壤中の気体または地下水をボーリングバーなどで採取し、土壤試料に含まれる調査対象物質の濃度の測定をおこなう。第二種特定有害物質（重金属など）については、表層の土壤及び深さ 5 ～ 50cm までの土壤を手掘りまたはダブルスコップなどでそれぞれ深さ方向に均等に採取し、調査対象物質の含有量と溶出濃度の測定をおこなう。第三種特定有害物質（農薬など）については、第二種特定有害物質と同様に土壤溶出量調査をおこなう。

### ・詳細調査

詳細調査は、対象地での汚染範囲を調べ、浄化などの有効な対策を立案するためにおこなう。一般にボーリング調査は、ボーリング機械を使用して汚染状況と地質構成を調べるために連続的に採取するオールコアボーリングをおこなう。

## (1) 土壌・地下水の採取技術

### 表層土壌調査

地表の場合、表層の土壌（地表から深さ 5 cm までの土壌）と深さ 5～50 cm までの土壌を採取し、汚染物質の有無を確認する。この場合は移植ごて、スコップ、ダブルスコップなどを使用すればよいが地表面がコンクリートやアスファルト等で被覆されている場合は、カッター、エアピック、電気ドリルなどで被覆分を掘削してから収集する。

地中深くの土壌を採取する技術については、ボーリングマシンによるボーリング（ロータリー式、打ち込み式、振動式及びこれらを組み合わせた技術など）が主流である。

### 土壌ガス調査

土壌ガスについては、直径 15～30 mm 程度、深さ 0.8～1m を目安にボーリングバーにより掘削した後、採取チューブと吸引ポンプを用いて採取する。土壌ガスの試料採取深度は地表から概ね 1 m 下とする。ただし、地下施設で調査対象物質を使用などしている場合は、これらの施設床面から概ね 1 m 下を試料採取深度とする。

### 地下水調査

地下水に汚染の可能性がある場合は、帯水層に観測井を設置する。地下水の採取技術については、弁を装備したサンプラーを、ロープなどで孔内に降ろし採取するタイプが主流である。その他に、ベラーと呼ばれる筒状のサンプラーを井戸に投入して採水する方法も多く使用されている。また、吸引ポンプ式採水器、チェックバルブ式採水器を用いる場合がある。ポンプを使用する場合は、裸孔内にサンプリングチューブやホースを挿入し、地上または水中のポンプで地下水を汲み上げる。

## (2) 土壌・地下水の分析技術

土壌・地下水の分析技術は、公定法と簡易分析法に区分される（表 1-2）。公定法は高額な機器を使用するが、精度が高く分解性能もよい手法である。分光光度計や蛍光 X 線分析法などが該当する。簡易分析法は、単純な手作業でおこなう分析手法であり、安価であるが感覚的に判断するため、精度に乏しく対象物質は限られる。試験紙法やパックテスト、検知管法などが該当する。

土壌・地下水の汚染採取手法、分析手法についての詳細は表 1-3 および表 1-4 に示す。

表 1-2 公定法と簡易分析法の比較

	公定法	簡易分析法
分析精度	高い	低い、再現性に欠ける
定量下限値	低濃度まで可能	定量下限値は大きい
対象物質	すべて	対象外の成分がある
妨害物質への対応	対応可能	対応できない場合が多い
時間	数日～数週間	即時～数日
分析費用	高額	安価
試料の必要量	多い:500g 以上	少ない(分析廃水も少ない)

出典：「土壤汚染対策技術」(2003)

表 1-3 代表的な土壌及び地下水の採取方法

土壌採取方法			
技術名	ハンドオーガボーリング	機械簡易ボーリング(SCSC式)	ロータリー式機械ボーリング
概要	深度が約3m以内の不飽和帯の地層状況を調査するのに適する。	深度約15m以内の砂礫を含まない緩い層や不圧帯水層の調査に適する。	地層の把握・連続した土壌試料の採取が必要な場合に適する。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・騒音・振動が少ない。</li> <li>・狭量地の施工が可能。</li> <li>・約400gの試料採取。</li> <li>・連続的な採取が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・騒音・振動が少ない。</li> <li>・建築物内部の施工が可能。</li> <li>・狭量地の施工が可能。</li> <li>・連続的な採取が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・適用可能な地層の範囲が広い。</li> <li>・掘削能力に優れている。</li> </ul>
注意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水より深く緩い層では、掘削・試料採取が困難である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水より深く緩い層では、掘削・試料採取が困難である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無水掘の場合は、コア試料に熱が加わらないようにする。</li> <li>・汚染物質濃度を適宜監視する。</li> </ul>
土壌採取方法			地下水採取方法
技術名	パーカッション式ボーリング	吸引ポンプ式採水器	チェックバルブ式採水器
概要	地層の状況を把握されていることを前提に、観測井や処理対策用の井戸を設置する場合には適する。	採水チューブの先端から採水し、地上の自吸式チューブから吸引するタイプ。	採水チューブの下端にチェックバルブがあり、地上でチューブを振動させることで地下水を地上に送る。
特徴	・掘進効率がよく、孔曲がりが少ない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低騒音である。</li> <li>・小規模の地下水処理に適している。</li> </ul>	
注意点	・掘進速度が大きく、不圧帯水層の観測井掘削時は、汚染が拡散しやすい。		・手動であるので手間がかかる。

出典：「土壌汚染対策法に基づく調査および措置の技術的手法の解説」(2003)

表 1-4 主な土壌及び地下水の簡易分析法 出典:「土壌汚染対策法に基づく調査および措置の技術的手法の解説」(2003)

分析手法	試験紙法	パックテスト法	検知管法	分光光度計
概要	試験紙(pH, 重金属)に検液をつけ、イオンとの反応による色の变化を標準色と比較して濃度を求める方法	ポリエチレンチューブの中に試験が密封されており、試料水を対象試薬に混合させ比色させる方法	処理剤や発色剤をつけた粒子を細長いガラス管に封入して、対象物質との反応によって着色した層の長さから濃度を求める。	準備された試薬を加えて発色させ、検量線をプログラムした分光光度計で測定し、濃度を求める方法
対象物質	重金属, VOC	特に制限無し	シアン、水銀、ヒ素、VOC	特に制限無し
特徴	・安価で簡便である	・分析対象が多い ・pH=5~9で測定が可能 ・分析器具を用いない ・測定時間が迅速(~5分) ・小さくて壊れにくく携帯性がよい	・取り扱いが簡便 ・安価 ・多点測定可能 ・測定時間が迅速 ・現状対応に優れている	・測定できる項目が多い ・精度が高い
注意点	・低濃度の測定は困難 ・目視による誤差が大きい	・共存物質により誤発色することがある ・微量物質を検出できない	・分析できる種類が限定 ・複数物質の分離が不可能 ・検出限界が低い(1ppmv) ・低濃度の測定に向かない	・定量的な分析 ・操作が煩雑になる ・分析時間を要する
分析手法	イムノアッセイ法	蛍光 X 線分析法	ガスクロマトグラフィ	ベトロフラッグ
概要	対象物質と反応する抗体を用いて抗体と抗原との特異的な反応を利用する測定法	試料面に X 線を照射させ、試料面からの特性 X 線を分光器で分けて様々なスペクトルを検出する手法	水素炎検出器(FID)で可燃物質の電子を捕らえ、そのシグナルにより定量する手法	携帯型の石油炭化水素濃度測定器
対象物質	鉛、農薬	重金属	VOC、石油炭化水素	石油炭化水素
特徴	・操作が簡便 ・分析が迅速 ・高価な分析機器や試薬を用いない	・小型・軽量である ・100V 電源で稼働 ・定性分析が迅速(数分間) ・重金属の定量分析(検出限界 10 ppm)が可能 ・同時分析が可能	・油では油種を判定できる ・操作が容易である ・定量分析が可能	・簡便・迅速に測定可能 ・広範囲な種類の炭化水素濃度の分析が可能 ・予め汚染源の油種を特定する必要はある ・1 試料あたりの測定時間は約 20 分 ・メンテナンスが容易
注意点	・機器分析に比べてやや誤差が大きい ・適用範囲が狭い(1対1の対応である)	・X 線管球が空冷のため冷却水が必要	・高温側で分離性が悪化する	・対象物質が限定される ・種々のモニタリング調査を要する

### 1.2.3 新たな土壤汚染調査技術

最近では、現場における土壌、地下水の採取技術は、作業の簡易化、迅速性が改善され、結果的に低コストで実施できる多くの機器が開発されている。一方で、非破壊方法の物理探査技術についても開発され利用されている。これらの技術を用いて帯水層中の比抵抗分布や比誘電率分布を把握することにより、高濃度の汚染プルームの分布を全体的かつ具体的に把握することが可能である。さらに破壊型の調査技術のように汚染を広げずに済む。代表的な技術には電気探査、磁気探査、地下レーダーがある。

#### (1) 電気探査

電解質を多く含んだ汚染物質の分布状況や汚染地下水の拡散状況を面的に把握するのに適している。特に汚染物質の分布状況については比較的把握の精度がよい。表層から深部までの探査が可能である。ウェンナ法、エルトラン法、二極法などがある。

#### (2) 磁気探査

電磁気測定を実施することにより、大地の比抵抗値を面的に測定する手法である。広域探査が可能であることから、大規模な汚染の分布状況調査や地下水状況調査などに適している。磁性を持つ物質のみに反応するため、重金属の分布を調査する手法として有効である。その他の物質に対しては適さない。MT法、CSA-MT法、空中電磁気探査などがある。

#### (3) 地下レーダー

地下レーダー探査とは、地表から地中に向けて電磁パルス波を放射し、その反射波を捉えることによって地下浅部の地盤構造や空洞、埋設物などの遺物を非破壊的に探査する手法のことである。探査範囲は浅い場所に限定されるが、空洞や埋設物、VOC汚染分布などに適用性が高い。

#### (4) 孔内検層

帯水層の把握を目的に、ボーリング孔を利用して実施する。例えば、電気検層では測定された比抵抗値から、各地層の透水性を概略的に評価できる。

#### (5) 地震波探査

未固結堆積物と岩盤の境界面や、岩盤の劣化状況(断層などによる破砕、割れ目の発達度、風化、変質など)、あるいは廃棄物と地山など物性の異なる地盤に対する探査に適している。弾性波探査、弾性波トモグラフィ、反射波探査、S波探査などがある。

## 1.2.4 土壌汚染に関する対策技術の動向

平成 19 年に環境省水・大気環境局が発行した「平成 17 年度土壌汚染対策法の施行状況および土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果」によると、これまで産業界において土壌汚染対策法に基づいて実施された土壌汚染対策技術の動向は以下のようになった。

表 1-5 土壌汚染対策措置の内容

	第一種特定有害物質 (VOC)		第二種特定有害物質 (重金属類)		第三種特定有害物質 (農薬類)		複合汚染など		累計	
	H16以前	H17	H16以前	H17	H16以前	H17	H16以前	H17		
<b>原位置浄化</b>	<b>413</b>	<b>58</b>	<b>54</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>147</b>	<b>37</b>	<b>726</b>	
バイオレメディエーション	27	2	3	0	0	0	14	3	49	
化学的酸化分解	25	10	7	3	0	0	22	7	74	
土壌ガス吸引	160	14	4	1	0	0	35	4	218	
地下水揚水	189	28	31	9	0	0	62	21	340	
土壌洗浄	5	1	6	3	0	0	4	1	20	
その他	7	3	3	1	0	0	10	1	25	
<b>掘削除去</b>	<b>209</b>	<b>48</b>	<b>844</b>	<b>234</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>193</b>	<b>42</b>	<b>1573</b>	
<b>搬出土壌処理</b>	<b>117</b>	<b>73</b>	<b>605</b>	<b>317</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>164</b>	<b>76</b>	<b>1353</b>	
指定区域内	熱処理	22	5	3	1	0	0	20	3	54
	洗浄処理	6	0	10	2	0	0	3	0	21
	生物処理	6	0	1	0	0	0	3	0	10
	化学処理	13	1	34	0	0	0	16	1	65
	抽出処理	2	3	2	0	0	0	2	1	10
	その他	6	1	6	1	0	1	5	1	21
指定区域外	熱処理	25	27	37	17	0	0	18	15	139
	洗浄処理	1	4	61	36	0	0	19	5	126
	生物処理	1	0	0	0	0	0	1	0	2
	抽出処理	3	6	5	0	0	0	3	2	19
	化学処理	4	2	62	2	0	0	14	2	86
	セメント原料化	25	24	192	129	0	0	54	45	469
その他	3	0	192	129	0	0	6	1	331	
<b>封じ込め</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>82</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>33</b>	<b>1</b>	<b>134</b>	
遮断工	2	0	23	0	0	0	6	0	31	
遮水工	0	0	5	1	0	0	3	0	9	
鋼矢板	3	1	21	5	0	1	13	1	45	
地中壁	2	0	13	1	0	0	5	0	21	
その他	2	0	20	0	0	0	6	0	28	
<b>不溶化</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>51</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>63</b>	
<b>飛散防止</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>190</b>	<b>51</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>39</b>	<b>11</b>	<b>301</b>	
覆土	2	0	61	2	0	0	9	2	76	
舗装	8	0	129	49	0	0	30	9	225	
<b>その他</b>	<b>112</b>	<b>0</b>	<b>110</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>28</b>	<b>1</b>	<b>256</b>	
<b>合計</b>	<b>870</b>	<b>180</b>	<b>1885</b>	<b>631</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>604</b>	<b>168</b>	<b>4343</b>	

出典：「環境省」(2007)

表 1-5 では、自主的に取り組まれた事例の多くは公表されていないため含まれていないが、掘削除去が現行技術のうち最も多く利用されている技術であることはほぼ相違なく、これには様々な背景がある。

第一に、掘削除去の対策期間の短さ、汚染を完全に除去することが可能であること、対外的に説明しやすく理解が得られやすいことといったメリットの部分が多く求められていることがある。これは土地取引の際に買い主や投資家、金融機関が土壌汚染リスクに対し大変敏感であり、汚染を完全に排除した状態で取引することが求められるケースが多いことと関

連がある。第二に、汚染の状況および条件などからも掘削除去が最も使いやすい技術であることがうかがえる。

陽イオンに電離した重金属類（第二種特定有害物質）は土壌に吸着されやすく、表層土壌に高濃度で存在する物質である。平成 19 年の環境省における同調査によると、重金属類については調査事例のうちの 60.1%が 2 m よりも浅い部分で対策がおこなわれた。また、全対策の 79.5%(2,000 件/2,516 件)が掘削除去に関連する技術による土壌汚染処理であった。これは、存在濃度や深度によって効率的かつ容易に対策をおこなうことができるという理由で選定された結果であったと推測できる。しかし、掘削除去には搬出土壌の処理を含めた関連技術が高額であることや搬出土壌の受け入れ先が限られているという課題がある。掘削後の重金属の土壌処理は、熱処理、洗浄処理、化学処理、セメント原料化が多い。

重金属汚染に対する対策技術については、掘削除去の他には封じ込め、不溶化、覆土、舗装などの飛散防止が多い。これらの技術は汚染を浄化しないため管理する必要があるものの、全体の 15.1%(381 件/2,516 件)を占めた。原位置で浄化する技術では、重金属に対して対策可能である地下水揚水と土壌洗浄は、対策件数は多くなかった。地下水揚水を用いる場合は、地下水中の重金属除去は可能であると考えられるが、土壌中の汚染の場合は、土壌ガス吸引や土壌洗浄などと並行しておこなう必要がある。土壌洗浄を用いる場合は、重金属と土壌の吸着力が大きいことは重金属の洗浄効率を妨げる大きな要因になる。今後、原位置での浄化技術に関する様々な課題を抽出し、効率よい対策を可能にすることで、重金属汚染に対する浄化技術の幅広い選択につながると考えられる。

トリクロロエチレンなどの VOC（第一種特定有害物質）は、地中深くに浸透し、地下水汚染を引き起こすといわれている。同環境省の調査によると VOC の場合は汚染の 40%あまりが地中 2 m より浅く、3 割の汚染が 5 m 以深であった。VOC 汚染では、掘削除去を利用して対策を行なった事例は 42.6%(447 件/1,050 件)にとどまった。これは土壌の深い部分において掘削除去を施すと、非常に高額になってしまうためであると推測できる。原位置で汚染を浄化する技術については、土壌ガス吸引と地下水揚水が特に多く、全対策の 44.9%(471 件/1,050 件)を占めた。揮発した成分は土壌ガス吸引やエアースパーキングにより処理される。その他に、バイオレメディエーションや化学的酸化分解をあわせておこなうと浄化効率が上がると考えられる。封じ込めや飛散防止という手法では対策件数は多くなかったが、汚染が漏出してしまいう可能性があるなど、管理が困難であるためだと推察できる。

農薬類（第三種特定有害物質）は、平成 17 年度に初めて対策が確認され、掘削除去及び搬出土壌処理、封じ込めという措置内容であった。また、複合汚染については技術の併用が多いと推測されるが、対策技術の使用状況に際立ったものは見られなかった。

いずれのケースにおいても代表的な土壌汚染対策技術についての課題を明らかにし、改善措置の選択肢が一層広がることが期待される。

## 1.2.5 状況に応じた土壤汚染対策技術の選定

本項では、代表的な土壤汚染対策技術を 10 種取り上げ、様々な要因から効率のよい技術選択をおこなうために重要であると考えられる情報をまとめた。本項において取り上げた技術の概要は以下の通りである。

表 1-6 代表的な土壤汚染対策技術の概要

対策技術	技術の概要
バイオレメディエーション	微生物を利用して環境中の有害物質を分解する技術。酸素を注入し微生物を活性化させる手法と汚染物質を分解除去する微生物を投入する手法がある。
化学的酸化分解	過酸化物を主成分とした酸化剤を土壤中に注入して、汚染物質を酸化分解させる方法。
土壤ガス吸引	土壤中の主に VOC 成分を、負圧を発生させることなどで気化させ、種々のポンプにより吸引、回収する工法。
地下水揚水	土壤中に垂直の井戸を設置し、周辺の地下水を揚水ポンプによって引き上げる手法。一般的に浄化を同時におこなう。
土壤洗浄	水などの溶媒を用いて汚染土壤を解砕、分級して、汚染物質が少ない粗粒と汚染物質が濃縮した細粒に分別する技術。分離された物質は揚水するのが一般的。
掘削除去	汚染土壤を掘削機械により掘削し、土砂運搬車両に積み込み搬出して、敷地から取り除き、清浄土により埋め戻す工法。
熱処理	汚染土壤を加熱することにより、汚染物質を分解、脱着、揮発させ、無害化させる技術。
封じ込め	汚染された土壤を規定された構造により一般環境から隔離して、対象物質を含む汚染土壤に起因する汚染拡散を防止する対策技術。
固化	汚染土壤を攪拌しつつ、固定化剤などを注入し、汚染物質の移動性を物理的に抑制させる技術。
不溶化	汚染土壤を攪拌しつつ各種薬剤などを投入し、酸化還元などにより対象物質を難溶性の物質に変えて化学的に安定化させることで溶出量を抑制する技術。

出典：「土壤汚染対策技術」(2003)

土壌汚染対策技術を選定する場合、汚染を取り巻く多くの要素を考慮する必要がある。土壌汚染対策技術の選定を左右する要素には以下のような事項が考えられる。

- (1) 汚染的要因：汚染物質の種類や濃度、地質、汚染の状況、汚染規模など汚染の状態。
- (2) 技術的要因：対策費用、対策期間、技術の持つ特性など技術的事項。
- (3) 外的要因：汚染地域および周囲地域の環境、土地売買に関わる第三者の影響など。
- (4) その他の要因：(1)と(2)の両方に関わる要因など。

### (1) 汚染的要因

土壌の汚染状況は汚染物質の「種類」と「濃度」、「分布（範囲）」を確定させることで大まかに把握することができる。濃度は、「高濃度 - 低濃度」がある。分布には、「広い - 狭い」、「浅い - 深い」、「掘削可能な場所 - 掘削不可能な場所」があり、深さの範囲、汚染の飛散状況などにより様々な汚染分布が想定される。これら汚染的な要因は土壌汚染対策技術を選定する際の基本的な要因になる。

表 1-7 には、代表的な土壌汚染対策技術 10 項目について、適応可能な汚染物質の「種類」および「地質」について示した。

表 1-7 土壌汚染の状態に適した対策技術（汚染物質・地質）

条件 対策技術	適応可能な物質				適応可能な地質			
	VOC	重金属	農薬類	油分	砂礫	砂	シルト	粘土
バイオレメディエーション		×						×
化学的酸化分解		×						
土壌ガス吸引		×	×					×
地下水揚水								×
土壌洗浄	×						×	×
掘削除去								
熱処理								
封じ込め	×							
固化	×		×	×				×
不溶化	×		×	×				×

主な出典：「土壌汚染を巡る企業の対策・対応のあり方報告書」（2007）

注 1) 表中の表記について。

：積極的に使用され、有効とされる技術

：通常において使用可能な技術

：使用には条件が多い技術

×：使用しないか、実績が極端に制限される技術

「適応可能な地質」では灰色の部分が適応可能であることを表す。

注 2) 「シルト」とは、砂より小さく粘土より粗い砕屑物のこと。

注 3) 土壌洗浄は砂礫層には特殊な洗浄水を用いた対策により土壌浄化可能となる。

適応可能な物質に関しては、表 1-5 においても傾向としてみられるように一部の対策技術には、対応する汚染物質があることが分かる。バイオレメディエーションや化学的酸化分解、土壌ガス吸引は VOC や油分には適しているが、重金属類には適さない。土壌洗浄、固化、不溶化は重金属類に有効であるが、VOC には不適である。熱処理は VOC、農薬類、油分に最適であるが、重金属類には適用しない。

一方、掘削除去はあらゆる汚染物質に対して利用できる。地下水揚水は地下水中のあらゆる物質に対して適用できる。また複合汚染については、固化が有効であるとされており、土壌洗浄は汚染状況に適した溶媒を選択することにより対応可能になる。

適用可能な地質については、砂礫や砂の透水層に対して 10 種すべての技術で対応可能であることが分かる。地下水揚水は、飽和帯（土粒子の間が地下水で満たされている土壌帯）において対策可能であるが、地下水中の VOC を浄化するのに適した手法であり、土壌自体に対する浄化効果は限定的である。土壌洗浄はシルトや粘土の層への対応は困難である。不透水層である粘土層の汚染は対応できる技術が少ないと考えられる。また掘削除去は極めて深い場所の汚染には適応しない。

次に表 1-8 には、土壌汚染の濃度、分布に条件を与え、様々な汚染状態の時にどの対策技術を施すことが有効であるかを示した。

表 1-8 土壌汚染の状態に適した対策技術（汚染濃度・分布）

			汚染分布	
			広い	狭い
汚染濃度	高濃度		B,E,F	C,D,F,G,H,I,J,抽出
		×	A,H,J	-
	低濃度		A,E,(H,J)	全体的に効果や費用の差が小さい(A,D)
		×	B,F	C,(D)

出典：「土壌汚染対策技術」(2003)

注 1) 表中の凡例について。

A：バイオレメディエーション、B：化学的酸化分解、C：土壌ガス吸引、D：地下水揚水、E：土壌洗浄、F：掘削除去、G：熱処理、H：封じ込め、I：固化、J：不溶化  
：効率的である ×：非効率的である。

注 2) ( )内は条件が合えば、対策が魅力的な技術を示す。また汚染物質の種類によっては表中では対策に有利としていても、対策できない技術もある。

汚染物質の種類によりそれぞれの技術の対策効率に変動があるが、一般的には、汚染濃度が高い場合には反応速度が汚染濃度に正比例する物理化学的な手法が有効である。逆に汚染濃度が低い場合には、封じ込めや不溶化あるいは生物処理(バイオレメディエーションやファイトレメディエーション)が費用対効果に優れた方法であるといえる。土壌ガス吸引や地下水揚水は狭い範囲への対策に有効である。

## (2) 技術的要因

土壌汚染対策技術を選定する上で、技術の特性を考慮することが重要であるが、対策に要するコストは選択を大きく左右する要因である。

現在一般的に対策されている主要 14 種の土壌汚染対策技術について対策にかかるコストについて、平均的な単価をまとめると表 1-9 のようになった。

表 1-9 対策にかかる平均的な単価 (主要 14 技術について)

単価 (万円/m <sup>3</sup> )	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
バイオレメディエーション	←→														
エアースパージング	←→														
地下水揚水	←→														
土壌ガス吸引	←→														
化学的酸化分解				←→											
溶媒抽出				←→											
掘削除去						←→									
土壌洗浄			←→												
封じ込め	←→														
熱脱着	←→														
熱分解			←→			←→									
熱焼却											←→				
固化	←→														
不溶化	←→														

出典:「環境負荷物質対策調査報告書」(2005)

これによると、VOC を除去するのに汎用性の高い地下水揚水や土壌ガス吸引、バイオレメディエーション、エアースパージングは安価であり、対策に用いられやすいことが分かる。土壌洗浄と化学的酸化分解は他の原位置浄化技術に比べると高額である。重金属の除去に主に使用されている掘削除去は高額である。熱処理は、熱脱着 < 熱分解 < 熱焼却と処理温度が高い技術ほど高額である。固化および溶媒抽出は価格変動が大きい。

対策にかかる費用は、対策工法、汚染物質や濃度、対象土量、対象地面積などの諸条件によって大きく変わる。それぞれの工法によって様々な条件で一長一短であるので、対象物質や対処土量などに応じて工法選択には十分留意しなくてはならない。

コスト以外の土壌汚染対策技術の持つ特性は、対策期間、浄化効率、処理能力などがある。それらについては、表 1-10 にまとめた。

表 1-10 代表的な土壌汚染対策技術の対策条件

対策技術 \ 対策条件	対策期間	浄化効率 [%]	処理能力 [m <sup>3</sup> /h]	上屋がある措置
バイオレメディエーション	数ヶ月～3年	30～40%	文献なし	
化学的酸化分解	数ヶ月～1年	文献なし	文献なし	
土壌ガス吸引	5～10年	文献なし	文献なし	
地下水揚水	数ヶ月～1年	文献なし	0.5～50	屋内可
土壌洗浄	2週間程度	90～99%	22～25	
掘削除去	2週間程度	汚染の完全除去	15～20	×
熱処理	数ヶ月～1年	99.9%以上	0.6程度	×
封じ込め	数ヶ月	汚染物質は残留		×
固化	一ヶ月以内	汚染物質は残留		
不溶化	一ヶ月以内	文献なし	文献なし	

主な出典：「土壌汚染対策技術」(2003)

注1)本データの数値部分については文献などを参考に平均的な数値を示した。土壌洗浄の処理能力は「地盤による」と記述している文献もある。

注2)「処理能力」において土壌は1 m<sup>3</sup>=1.6 tに換算した。

対策期間については、土壌洗浄、掘削除去では2週間程度という短期の対策である。固化、不溶化は一ヶ月以内であり、化学的酸化分解、地下水揚水、熱処理は数ヶ月～1年、バイオレメディエーションや土壌ガス吸引のような原位置浄化工法については1年程度を超える長期間に及び対策もある。

浄化効率については、掘削除去を用いるとその場の汚染については完全に除去することが可能である。その他の技術については、土壌洗浄、熱処理は90～99%という高性能な浄化率である。バイオレメディエーションは対策工法や対策条件によってばらつきが大きい。国内における対策事例では汚染物質の減衰は平均30～40%程度にとどまるとされており、米国における報告では平均70～80%に達するとされている。封じ込めや固化は、土壌中に汚染物質が残留する対策工法である。

処理能力については、土壌洗浄は22～25 m<sup>3</sup>/hと大きく、熱処理は0.6 m<sup>3</sup>/hと小さい。地下水揚水は対策条件によりばらつきがある。

建屋下では、バイオレメディエーションや化学的酸化分解、水平井戸を用いて土壌ガス吸引や地下水揚水をおこなうのが有効である。掘削除去や熱処理は利用できない。

対策技術を組み合わせることで汚染除去の効率が上がる。技術を併用するか、一つの技術で複数の機能を備えるという開発が考えられる。以下に代表的な技術の組み合わせを示す。

表 1-11 効率的な土壌汚染対策技術の組み合わせ

	バイオ	化学	吸引	揚水	洗浄	掘削	エアースパー	封じ込め	固化	不溶化
バイオレメディエーション	●									
化学的酸化分解		●								
土壌ガス吸引			●							
地下水揚水				●						
土壌洗浄					●					
掘削除去						●				
エアースパージング							●			
封じ込め								●		
固化									●	
不溶化										●

主な出典：「土壌汚染対策技術」(2003)

凡例) ● : 開発が確認されている項目      ○ : 開発が可能であると考えられる項目

エアースパージングは土壌あるいは地下水中に空気を注入して、微生物を活性化させたり、VOC や揮発性の高い燃料油などの揮発を促したりする。そのため、バイオレメディエーションや土壌ガス吸引、地下水揚水と併用させると有効である。以下には、代表的な技術を組み合わせについての概要を示す。

#### 化学的酸化分解+土壌ガス吸引法

土壌の汚染は土壌ガス吸引法で浄化する。地下水中の汚染区域には酸化剤を注入、有機汚染物は酸化剤と反応し、二酸化炭素、塩化物、水などに分解、無害化する。

#### 土壌ガス吸引法+地下水揚水

地下水中には地下水揚水を設け、地下水位以浅の土壌には、土壌ガス吸引井戸を設ける。

#### 掘削除去+土壌洗浄

掘削除去後に土壌洗浄をおこなう。掘削除去と併用する技術は掘削後の浄化技術として扱われる。

### **(3) 外的要因**

土壤汚染対策技術を選定するのに、外的な影響を受けることがある。

その一つは周辺環境である。天候は対策状況を左右する要因になりうる。雨天の場合は、土壤洗浄やバイオレメディエーションのような長期にわたる浄化技術にとってはそれほど大きな要因にはならないと考えられるが、掘削除去や熱処理は土中に水分を含んでいると対策が長引いてしまうので不向きである。市街地で対策する場合、対策の際のわずかな振動や騒音が地域住民には苦痛になることがある。掘削除去や土壤ガス吸引などに代わって、工事の際の振動・騒音の少ない盛土や舗装、バイオレメディエーションや化学的酸化分解、土壤洗浄などが有利であるといえる。農地や山林では、比較的限られた特定の人が入り出る地域である。浄化のための機器やトラックなどを搬入する道路が整備されていないような場所では、用具を持ち込む工夫が必要である。

浄化後の用地環境を考慮することも重要である。市街地や公園のような公用地になる場合、浄化対策に不備があった場合には大多数の人々の健康被害に及ぶ恐れがあるから、最も慎重な対応が必要である。このため最低限、十分な盛土やコンクリート被覆を用いた封じ込めや汚染物質の除去、分解をおこなうことが望ましいといえる。

土壤汚染対策をする土地を売買する場合には、汚染リスクを管理する形になることは拒まれるケースが多く、対策の迅速性についても問われることは、掘削除去を選択せざるを得ない状況になるケースが多いことを示している。今後、掘削除去以外の技術を推進していくには、浄化工法について確実な汚染除去が実現可能であることを地域住民や自治体に対し情報提供を継続的におこなっていくことが重要になると考えられる。

#### (4) その他の要因

最近では技術の特性と汚染側の条件の双方を考慮した変動要因についての研究も進められている。これらの事項は(1)~(3)に挙げた事項ほど土壌汚染対策技術の選択に大きく左右しないと考えられるが、全てを加味して検討することが浄化効率を高くし、対策費用を下げることにつながる。変動要因は大きく分けると、土質について、汚染物質について、注入剤など汚染物質以外の物質(以下、第三物質とする)について、地下水について、装置についての少なくとも5つが挙げられる。

##### 土質について

###### a. 土質

###### 対象技術

- ・地質構成：化学的酸化分解、土壌ガス吸引、土壌洗浄
- ・粒径分布：バイオレメディエーション、土壌洗浄、熱処理
- ・珪酸・鉄・アルカリ土類金属などの比率：熱処理

###### b. 土壌の pH、温度

###### 対象技術

バイオレメディエーション、不溶化・熱処理(pHのみ)

###### c. 土壌の湿分、水分

###### 対象技術

バイオレメディエーション、土壌ガス吸引、掘削除去、熱処理

土質の持つ変動要因には、地質の構成、粒径分布、成分比率、pH、温度、湿分、水分などが考えられる。これらは汚染物質の流れ、注入物質の反応条件などを左右する。

土壌の地質構成や粒径分布は透気性あるいは透水性に直接影響を与える因子である。これらは土壌中に気体もしくは液体を通す技術、例えば土壌を洗浄する技術や注入剤により汚染物質を除去する技術にとって洗浄効率を左右する要因になる。土壌ガス吸引の場合は、通気性が低い地質だと気体を吸引しづらくなるので、高い透気性、透水性をもつ地質構成が求められる。熱処理の場合は、処理土中のシルト・粘土分が排気に混じると処理コストの増大につながるため、粒径分布には注意が必要である。また熱処理では、珪酸・鉄・アルカリ土類金属の比率が熱処理の効率性を左右する要因となる。

バイオレメディエーションは、微生物を取り扱う手法であるため土壌の pH、温度の影響を受ける。微生物の活性化しやすい条件である pH=4.5~8.5、温度は 15~70 が適であるとされている。土壌における酸化あるいは還元条件の構築方法が重要になる。

不溶化は土壌中の汚染物質と注入材との化学反応であり、反応を進めるためには土壌の pH が変動要因となる。鉄化合物を使用した場合、汚染物質と反応し錯化合物を形成するが、処理中の pH が高くなると水酸化鉄とヘキサシアノ鉄に分離してしまうため、中性付近の

pHでの処理が求められる。また熱処理では土壌 pH=5~11 が好ましいとされている。

土中の湿分、水分についても対策に影響を与える。バイオレメディエーションは土中の湿分が微生物の活性などに対し変動の要因となる。土壌ガス吸引は、土壌中の気体のみを吸引するため、処理中に水分が混入している場合、土中の空気の動きを妨げてしまう。そのため気液分離装置を設置する必要がある。掘削除去は土中に水分が含まれて泥状になっていると工費が増大する。熱処理の場合は、土中に水分が含まれていると乾燥処理をおこなう必要が生じ、操作が長引いてしまう。これらの技術を使用する場合は、天候や土壌の水はけ等に注意を払う必要がある。

### 汚染物質について

#### a. 汚染物質の物性

##### 対象技術

- ・揮発性：土壌ガス吸引、地下水揚水
- ・拡散係数、気相と液相間の物質移動：土壌洗浄
- ・気化温度、分解温度：熱処理

#### b. 汚染物質の水への溶解度

##### 対象技術

土壌ガス吸引、土壌洗浄

#### c. 汚染源の移動

##### 対象技術

地下水揚水

#### d. 汚染物質と土壌の吸着性

##### 対象技術

化学的酸化分解、土壌ガス吸引、土壌洗浄、地下水揚水、熱処理

汚染物質の物性は、同一の対策技術であっても対策方法などに変動を与える要因になる。

汚染物質の揮発性は、土壌ガス吸引や地下水揚水の対策技術に与える影響が大きい。土壌ガス吸引では、ヘンリー定数  $> 3 \times 10^3 \text{ atm}\cdot\text{m}/\text{mole}$  以上の揮発性が必要である。それよりも揮発性が小さい場合は、蒸気注入や熱気注入の補助手段が必要になる。地下水揚水の場合は、ヘンリー定数  $> 3 \times 10^3 \text{ atm}\cdot\text{m}/\text{mole}$  以上の対象物質で曝気効果が大きいとされる。

土壌洗浄の場合は、薬剤を注入した後の汚染物質の挙動が処理工程などに変動を与える要因になりうる。洗浄作業は一方的なものであり、汚染物質の洗浄されずに残ってしまうと複数回の対策をおこなう必要が生じるからである。汚染物質の拡散係数などが洗浄効率を推定する因子になる。

熱処理は汚染物質の気化温度、分解温度は装置の設定温度などを大きく左右する。

土壌ガス吸引では、汚染物質の水溶性が高い場合には、汚染物質は地下水から揮発分離

しにくくなるので、吸引しづらくなる。

土壌洗浄では、洗浄液に水を用いる場合は汚染物質の水の溶解度が使用量を左右するので、対策コストの変動要因になる。ただし有機物の場合は水よりも有機溶媒に溶けやすいため、洗浄液には有機溶媒が選択されることが多い。しかし有機溶媒は浄化後にそのまま土壌中に残存するため、新たな汚染を引き起こさないかの吟味が必要になる。

地下水揚水は汚染源の位置がわずかでもずれてしまうと、対策期間や浄化効率に大きな変動を与える。

化学的酸化分解や土壌ガス吸引、土壌洗浄、地下水揚水、熱処理のような土壌から吸着している汚染物質を分離する場合は汚染物質と土壌の吸着性は浄化効率などを変動させる要因になる。

### 第三物質について

#### a. 注入剤について

##### 対象技術

- ・注入剤の種類：バイオレメディエーション、化学的酸化分解、土壌洗浄、固化、不溶化
- ・注入剤の使用量：バイオレメディエーション、土壌洗浄
- ・薬剤の注入方式・混合方式、薬剤の拡散・漏洩防止：バイオレメディエーション、化学的酸化分解、不溶化

#### b. 汚染物質と注入剤の反応性

##### 対象技術

バイオレメディエーション、化学的酸化分解・不溶化（反応方式と反応条件、薬剤使用量と残留薬剤の管理）

#### c. 土壌中の第三物質の影響

##### 対象技術

- ・環境雰囲気変化による第三物質の挙動：バイオレメディエーション、化学的酸化分解、不溶化
- ・生物阻害活性物質：バイオレメディエーション
- ・鉄イオン：地下水揚水（閉塞の問題）

浄化技術などに使用する注入剤を含む土壌中の第三物質は浄化技術の際に浄化効率などを妨げる要因になりうる。

バイオレメディエーションや化学的酸化分解、不溶化のように薬剤を注入する対策技術の場合は、薬剤の種類、注入方式・混合方式、薬剤の拡散・漏洩防止策などを講じる必要がある。またバイオレメディエーションでは生物阻害活性物質の存在に注意を払う必要がある。あらかじめ土壌中にどのくらい存在するかを把握しておくといよい。

地下水揚水の場合は鉄イオンが揚水の際に閉塞を引き起こす可能性があるため、注意す

る必要がある。

### 地下水について

#### 対象技術

- ・地下水の流動性、地下水位：バイオレメディエーション、化学的酸化分解、土壤洗浄、地下水揚水、不溶化、土壤ガス吸引（地下水位のみ）

地下水の流動性、地下水位については、地下水中の汚染を除去する技術について変動要因となりうる。

### 装置について

#### 対象技術

- ・井戸（本数・位置・仕上げ状態）：バイオレメディエーション、化学的酸化分解、不溶化、土壤ガス吸引、地下水揚水、
- ・加熱方式、運転条件、乾燥温度：熱処理
- ・土壤の攪拌条件：バイオレメディエーション

井戸を用いる地下水揚水などの対策法では、汚染源をわずかにずれてしまうだけでも対策期間や浄化効率などの大幅な変動になるため、井戸の設置位置などに十分注意を払う必要がある。汚染源の位置を正確に把握するためには、地質構成、地下水流動条件、汚染物質の遅延係数や拡散係数などに十分配慮した汚染地下水の挙動についてのシミュレーション技術を改良していく必要がある。

熱処理においては、加熱方式や運転条件、乾燥温度は汚染物質の気化温度などにより決定される重要な項目である。

バイオレメディエーションでは土壤の攪拌条件にも注意を払う必要がある。

## 1.2.6 土壤汚染対策技術の課題と新たな展開

この項では、土壤汚染対策に関する代表的な技術について考えられる課題を 1.2.5 の(1)~(4)の要因から見出し、対応策として考えられる事項をまとめた。さらに、課題の対応に関連する最近の開発事例を挙げた。(最近の開発事例の詳細は一部参考資料 1 にまとめる。)

### A. バイオレメディエーション

**課題 1** 工期が数ヶ月～3年前後と非常に長い。

操業中から土壤汚染リスクを管理し、早期に土壤汚染対策を実施する。エアースパーキングで生物活性を高めることや土壤洗浄と並行しておこなうことで対策期間を短くすることが可能であると考えられる。

**課題 2** 重金属類の浄化には適応しない。

水銀は、微生物によって気化、分離することが可能である。金属耐性に優れた微生物を使用する。

**課題 3** 高濃度汚染に不向きである。

地下水揚水で汚染を低濃度にした上でおこなう。

以上のような課題を対応させる最近の技術開発には次のようなものがある。

#### a 工期を短縮化するもの

##### 微生物栄養剤

土壤中の硫酸還元菌や脱塩素化菌を活性化させる栄養剤を開発した。硫酸還元菌や脱塩素化菌は塩素や二酸化炭素を分解するため、トリクロロエチレンなどの VOC を無害な物質に分解することができる。従来の栄養剤と比べコストは 3～4 割削減でき、短期間での浄化 (VOC では 100 日程度) が可能になる。(日経産業新聞 2007.7.24)

##### バイオニュートラル工法

建設現場で発生するセメント混じりの汚泥に発酵促進剤を加えて微生物を活性化させ、一ヶ月ほどで土壤を中和する工法をさらに発展させて、緑化用の土壤にまで再生できる工法を開発した。場外処理する場合に比べて処理コストは 2 割程度削減できる。

(日経産業新聞 2007.7.27)

##### サイクリックバイオレメディエーション

土壤中に存在する微生物によって、油類、VOC など生分解可能な汚染物質を原位置のま

ま低コストで処理する技術。

特徴は、地下水を循環させるため土粒子に吸着している微生物が効率よく除去され、浄化期間が6ヶ月～1年前後にまで短縮できる点、汎用的に利用できる微生物の栄養剤を利用できる点にある。その他浄化効率、浄化の確実性、安全面についても優れている。

#### **短期原位置微生物活性型のバイオレメディエーション（EDC工法）**

EDC(Electron Donor Compound：電子供与体)を土壌・地下水中に注入し、汚染場所に生息している微生物を増殖、活性化させ、トリクロロエチレンなどのVOC還元脱塩化を促進する技術である。浄化期間は3ヶ月程度である。

#### **b 様々な汚染状況に適応させるもの（複合汚染、特定の汚染場所など）**

##### **プロパゲーション工法**

汚染されている土壌に細いパイプを差し込み、フラクチャスラリーを圧入後、地下で半径5mの円盤状の薄い砂の層（プロパゲーション）を作り、そこに化学酸化剤や微生物などの浄化促進剤を注入する手法である。

本工法の特徴は、建物直下の汚染浄化、操業中の浄化、少ない井戸本数で広範囲の浄化、汚染源の浄化、透水性の低い地層の浄化など他の工法では浄化が困難な場所にも適応でき、浄化効率が良いことが挙げられる。

プロパゲーション層を形成する際に、フラクチャーの間詰め材として粒径1.0～1.5mmの濾過用の砂をキャリアー媒体であるCMCの1.5%溶液（フラクチャスラリー）として圧送するが、これは透過性の優れた砂を用いることで薬液を送入しやすくするためである。

（日経新聞 2007.6.28）

##### **レメディエーションモール工法（日経産業新聞 2007.7.31）**

土中の位置を正確に把握できる削孔技術「レメディエーションモール工法」を開発した。建物直下にある汚染土壌に対して、揚水処理や薬剤注入、ガス吸引など汚染対策用の井戸の設置や薬剤の直接注入をすることができる。従来と比べコストは2～3割削減できる。

##### **微生物による水銀汚染浄化（日経産業新聞 2007.8.22）**

水銀に汚染された土壌を鉄酸化細菌と鉄分を混ぜた溶液を用いて水銀を気化・分離して浄化する事業を実用化した。

##### **VegOil プロセスによる嫌気性微生物浄化**

植物油を飽和土壌帯に注入し、土着の嫌気性微生物を活性化させることにより、飽和帯土壌中のVOCの脱塩素反応を促進させる原位置浄化工法である。浄化期間は1.5～3年を要する。

## B. 化学反応による汚染浄化

化学的酸化分解は、酸化剤を帯水層の中に注入し、土壌あるいは地下水中の VOC および油分などを水や二酸化炭素にまで酸化分解することにより除去する技術である。このように化学反応を利用して汚染を浄化する工法の課題には、以下のようなことがある。

**課題 1** 浄化後のリスクが高い。

投与する薬剤を無害のものにする。高い汚染浄化効果を持つ薬剤の開発。

**課題 2** 工費が高額である。

投与する薬剤を少量でも大量の汚染を浄化するものにする。

化学的酸化分解で使用する酸化剤には、過マンガン酸カリウムや過硫酸塩フェントン試薬などがあり、土壌中に注入すると有機酸や硫酸イオンなどの副生成物が生成することや重金属などが溶出することが課題となっている。また化学反応を利用した浄化技術は一般的に、他の原位置浄化技術に比べて、浄化後のリスクが高いことと、高額であることが改善の余地がある点として挙げられる。

これらの改善策としては、投与する薬剤として、低コストのもの、無害なもの、副生成物を生成しないもの、あるいは少量でも大量の汚染を浄化するものに使用することや、高い汚染浄化効果を持つ薬剤の開発が挙げられる。

### 最近の開発事例

#### フッ素・ホウ素汚染浄化技術

フッ素の場合、硫酸を 5% 加え、セ氏 200 で 20～30 分かき混ぜながら加熱して揮発させる。揮発したフッ素はカルシウムを含む水溶液に吹き込んで沈殿させて回収する。ホウ素については、珪酸ナトリウムを 1% 加えて反応させ、水に溶け出さないホウ酸ナトリウムに変える。新技術は薬剤の使用量が少なく、現行技術よりもコストが下げられると考えられる。(日経産業新聞 2007.11.6)

#### ソルボック工法

汚染土壌の浄化材としての「特殊酸化鉄」と、固化材としての中性の「特殊固化材」をスラリー（泥水状混合物）または粉体状で使用し、汚染されている原位置で土壌と攪拌混合することにより、VOC をアセチレンやエチレンなどの無害な物質に還元分解するとともに攪拌によって緩められた土壌を固化処理する。

#### ホットソイル工法

VOC によって汚染された土壌に、水と発熱反応する生石灰などの無機化合物（ホットソイル）を添加し・混合し、水和反応熱により VOC を効率的、かつ速やかに揮発・分離させ

て汚染土壌を浄化する工法。本工法では、投入する薬剤の毒性が低く二次汚染物質の発生はないため、浄化後のリスクは小さいと考えられる。また幅広い汚染濃度に対して有効である。

#### **鉄粉を使用した有機塩素化合物の浄化技術**

ゼロ価の鉄が有機塩素系化合物を酸化還元反応により順次脱塩素するのが主な反応である。マグネタイト( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )も有機塩素系化合物を分解することで知られている。

鉄粉を利用した恒久措置の原位置浄化として、鉄粉を原位置で地盤中に注入する方法と攪拌混合する方法(DOG 工法 : Decomposition of Organic Chloride Compound Ground)がある。この工法は、鉄の微粒粉末を含む懸濁液(Colloidal Iron: CI 剤)を TCE 等に汚染された土壌中に注入または攪拌し、土壌・地下水中の有機塩素系化合物を脱塩素還元反応などにより分解無害化する工法である。CI 剤中に含まれる成分に環境負荷はなく、安全上問題ない。

#### **DCR 脱ハロゲン化工法**

常温でダイオキシン類の無害化処理をおこなうものである。加えて、油や重金属といった汚染物質との複合汚染に対しても有効な処理工法である。DCR とは、「Dispersing by Chemical Reaction ( 化学反応による分散 )」という意味である。特殊な疎水性処理をした酸化カルシウムを主体とする微粉末状の薬剤を添加、攪拌することによって、速やかに処理対象物を微細に分散・粉体化させ、処理対象物の化学反応性を活性化させる働きを持つ。

#### **除放性水素供給剤(HRC)による原位置浄化**

HRC( Hydrogen Released Compound )はポリ乳酸エステルを主成分とする物質である。本薬剤を地下水に注入し、加水分解や微生物の働きにより水素を放出させることで、VOC 類を還元分解する技術である。無害な物質であるので二次汚染を起こしにくく、自然の浄化作用を促進させるため、浄化期間を短縮させることができる。

#### **3 価マンガニ錯体による湿式浄化工法**

酵素マンガニペルオキシターゼの作用によって、強力な酸化力を持つ 3 価マンガニ錯体を生成させ、これと土壌とを常温付近で混練させることにより、土壌に含まれるダイオキシンや PCB を短時間で分解する浄化工法である。反応液と土壌との配合比を最適化することで、酵素濃縮液の使用量を削減でき、低コスト化につながる。

#### **湿式酸化ラジカル法による PCB 汚染土壌処理技術**

湿式酸化ラジカル法は、汚染土壌スラリーをマイルドな加温、加圧下におき、土壌中の汚染物質を水に溶出させ、酸化剤 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) の分解生成物である OH ラジカルの強力な酸化力を利用して溶出した汚染物質を酸化分解する技術である。低温度で処理が可能であり、熱処理を効率よくおこなえるため、処理費の低減が可能である。

## C. 地下水揚水

課題 1 装置による変動要因が大きいこと。  
汚染状況を正確に把握する。

地下水揚水は、地下水中の汚染に対しては、浄化効率が高く工期が短期であるため、魅力的な技術であるといえる。現在では、土壌中の汚染を併せて除去する技術も開発されている。ただ、汚染源や地下水の状況を正確に把握することは、施工期間や浄化効率、費用などの削減につながるため、関連のシミュレーションシステム開発などを進めることは重要であるといえる。

## D. 土壌ガス吸引

課題 1 工期が5～10年と非常に長い。  
他の技術と組み合わせた処理をおこなう。  
課題 2 装置による変動要因が大きいこと。  
汚染状況を正確に把握する。

### 最近の開発事例

#### ハイブリッド型土壌凍結・ガス吸引処理

汚染土壌を削孔した後凍結溶融管を挿入し、管に冷媒液を注入して管周辺の汚染土壌を凍結させて、土壌中に存在するVOCを集積・濃縮させる。その後、管に温媒液を注入し凍結した土壌を融解させる。このとき土壌粒子の間隙が増大し、土壌の通気性が高くなり、汚染ガスを吸引しやすくする。本工法は、対策期間をガス吸引のみの場合の半分以下に抑えることができ、汚染物質の選択的集積により複合汚染への対応も可能である。

#### MJP吸引曝気装置を用いた二重吸引法

MJP吸引曝気装置を用いて、吸引井戸より汚染された土壌ガス及び地下水を吸引回収する原位置浄化工法である。一つの装置で「土壌ガス・地下水の吸引」および「吸引した地下水の曝気処理」を可能にした非常に省スペースで低コスト、低騒音な装置である。

## **E. 土壌洗浄**

土壌洗浄は、土壌を機械的に洗浄して有害物質を除去する方法である。汚染物質の種類によって使用する洗剤のタイプが決まる。溶液は、水のみか、水+酸、アルカリ、界面活性剤を加えたものが通例である。水は水溶性の汚染物質に効果的である。酸(硝酸、塩酸、炭酸)は、重金属や有機物質の分離、特に電池リサイクルの汚染やめっき工場のクロムに効果的である。アルカリは、フェノールや一部の重金属に適用される。界面活性剤は乳化作用により、油脂汚染に適用される。

現行の技術の中では、土壌洗浄は、重金属等を含む幅広い汚染浄化に適合する技術であるので積極的な対策が期待される工法になる可能性がある。しかし、現状のところ対策は他の浄化技術に比べて多くない。その理由としては、浄化効果の正確な確認が難しく、他の原位置での浄化工法と同様、汚染が完全には除去されない点や酸・アルカリを使用した場合には後処理の費用などが生じる点があることなどが考えられる。以上の点を改良した技術開発には、CAT 工法と呼ばれる炭酸水を洗剤とし、効率よく汚染物質を洗浄する工法などがある。

### **最近の開発事例**

#### **水洗分解処理技術(ウォッシュメルト)**

本工法は、土壌洗浄技術と溶融分解技術を組み合わせた処理システムである。汚染土壌に水と空気を加え、PCB を土壌から分離・濃縮させる。減容、濃縮された PCB 汚染土壌をジオメルト技術で溶融分解処理することにより、量を大幅に低減させる。ジオメルト処理により、全体量を大幅に低減できるので処理コストの削減が可能になった。

#### **超高压水による地層洗浄工法**

汚染地層中に超高压水を噴射させて、地盤を切削、洗浄して VOC 及び重金属を地下水へ排出させ、この地下水を揚水して処理するものである。

本工法の特徴は、高压水の持つ多面的な浄化作用により、効率的かつ経済的な浄化をおこなうことが可能になること、深度 10 m を超える地下深部の浄化が可能であること、粘性土の浄化が可能であることなどがある。

#### **浸漬処理による重金属汚染土壌の浄化技術**

重金属で汚染された土壌を、クエン酸溶液等の洗浄液に漬け置き、すすぎ洗いを経て、粗粒分と細粒分を篩い分ける工程の間で浄化する技法である。

本工法の特徴は、土壌に特異吸着など強い結合をしていた重金属物質などでもクエン酸溶液中に溶出させ、洗浄分級させやすくすること、クエン酸溶液を使用すること、振動、騒音を引き起こさないなど環境に優しい技術であること、狭い場所でも浄化工事が可能であること、低価格、高効率に浄化することなどがある。

## F. その他原位置浄化技術

原位置浄化技術の多くには次の共通の課題がある。

課題 1 重金属類の浄化は困難である（重金属に対しては使用できない技術もある）。

課題 2 浄化期間が長い。

重金属は、土壤中で汚染された状態でも単体のものが多く、常温では揮発しないので原理上化学的酸化分解や土壌ガス吸引での対策は考えられない。重金属の浄化技術として近年開発が進んでいるのは主にエレクトロレメディエーションおよびファイトレメディエーションである。

エレクトロレメディエーションは、土壌中から間隙水中に溶出した重金属イオンを陰極および陽極に引き寄せ、電極井戸を循環している電解質溶液中に濃縮・回収する仕組みである。この手法では重金属の選択回収に非常に有効であり、掘削除去に変わる技術として更なる開発が望まれる。他工法と併用すると効率がよい。VOC については揚水処理をおこなうことで除去し、揮発した VOC はガス吸引により除去する。これに加え、バイオレメディエーションを施すとさらに浄化に効果的である。

エレクトロレメディエーションに利用される動電現象には電気分解、電気浸透、電気泳動がある。次にエレクトロレメディエーションの特徴および適用の限界を示す。

### 特徴

- ・ 安価である(10,000 ~ 40,000 円/m<sup>3</sup>)。
- ・ システムがシンプルである。
- ・ 処理電力量：150 ~ 200kwh/m<sup>3</sup>。
- ・ 難透水性・粘土層の修復が可能である。
- ・ 地形の制約を受けずに工場・住宅の直下汚染土壌の浄化・修復ができる。
- ・ 天候・気候に左右されずに浄化・修復ができる。
- ・ 土壌微生物などの自然生態系を破壊せず浄化・修復ができる。
- ・ 全ての汚染物質に対し浄化効果がある。

### 適用の限界

- ・ 二次汚染の発生がありうる。
- ・ 処理が長時間（2ヶ月～3年）に及ぶ。
- ・ 土壌の種類によって浄化能に差が生じること。

ファイトレメディエーションは、植物を意味する phyto-という接頭語を、修復を意味する remediation と結びつけた、植物を用いた環境浄化を示す言葉である。

ファイトレメディエーションは、植物が根から土壌中の水分や養分を吸収すると同時に重金属などの有害物質を取り込むことで汚染を浄化する手法である。植物の体内や微生物の働きにより汚染物質が分解される場合と、植物の体内に吸収・濃縮する場合がある。

ファイトレメディエーションの一般的な特徴と適用の限界は以下の通りである。

#### 特徴

- ・光合成により行われるため環境負荷が小さく、二次汚染がない。
- ・植物により表土が保護される。
- ・植物が土壌水を吸い上げるので汚染物質の拡散を抑制する。
- ・社会認知が得やすいと考えられる。
- ・低コストである。

#### 適用の限界

- ・時間がかかる。
- ・根が届く深度に限界がある。
- ・毒性がある土壌への適用は困難である。

### 最近の開発事例

#### エレクトロレメディエーション

##### ISER(In-Situ Electro kinetic Remediation)法

水を加えた汚染土壌に正極と負極の電極を差し込んで直流電流を流すことで、重金属を水とともに負極に引き寄せて吸引し回収する。

#### 電気バイオ修復法

土壌汚染地盤に電極を挿入し、それらに交流電流を流すことで地盤を緩め、土粒子に吸着された汚染物質を剥ぎ取って、揚水とガス吸引によって回収する技法である。さらに地盤が緩くなった土壌に栄養素を投与することで汚染物質を効果的に分解し、土壌修復に寄与する。原位置浄化ができるため環境負荷が少なく、低コストでの対策が実現できる。

#### 電気フェンス法

電気修復法の原理を応用し、重金属類で汚染された地下水が敷地外に拡散することを防止する手法である。地下水流の川下側の敷地境界に沿って電極を設置し、電極間に直流電圧を印加することにより、上流側から流れてくる地下水の中から汚染物質を回収することで汚染を防止する。

## ファイトレメディエーション

### 金属汚染浄化ファイトレメディエーション

アブラナ科の植物を用いて、低コスト、省エネルギーで土壌を浄化する技術である。

本工法の特徴は、植物を利用するため太陽がエネルギー源であること、処理費用が従来の約半分であること、軽度の汚染では3ヶ月程度の対策であることなどがある。

ナチュラルアテニュエーション(NA)は、石油類を中心とした易分解性化合物や揮発性有機化合物が自然地盤の持つ自浄作用によって徐々に減少する点に着目した非アクティブな浄化手法である。土壌に含まれる汚染物質は、化学的・物理的処理により一定レベルにまで低減できるが、それ以上は対策を強化しても低減速度が遅くなる可能性がある。このような時、自然に任せることで遅いながらも汚染濃度が減少していく NA を施すことが有効である。この技術は米国を中心に 1990 年代中頃から急速に発展しており、近年では土壌汚染対策の代表的な技術にもなっている(表 1-12)。

表 1-12 米国における土壌汚染対策技術

適用された浄化対策	件数	割合(%)
掘削技術	2,505	29.4
<b>自然減衰(ナチュラルアテニュエーション)</b>	<b>1,214</b>	<b>14.2</b>
原位置封じ込め	923	10.8
原位置バイオレメディエーション	701	8.2
現場バイオレメディエーション	180	2.1
土壌ガス吸引	1,714	20.1
化学的酸化分解	583	6.8
固化・不溶化	472	5.5
加熱脱着	83	1.0
反応性透過壁	90	1.1
土壌洗浄	35	0.4
オンサイト焼却	28	0.3
合計	8,527	100

出典:「土壌・地下水汚染の浄化(米国の経験)」(1996)

山形県米沢における調査では、地下水中のジクロロエチレンやテトラクロロエチレンの含有濃度が5年あまりで0.8～0.02 mg/Lへと環境基準値以下にまで低減する結果が得られた。しかし地方によって結果には差が見られ、同等に浄化が見られないこともあった。

NAは化学的分解や吸着と並行して実施すると効果が高い。また対策中は汚染を放置するのではなく、対策中のモニタリング作業が必須である。モニタリングの費用は安価ではない。

## 最近の開発事例（その他の浄化技術）

### **エンバロジェット工法**

ウォータージェット技術を用いた革新的な原位置浄化工法である。

本工法の特徴は、高い頻度で必要な範囲のみを浄化できる工法であるため、処理コストが削減できることである。高濃度汚染や重金属汚染に対応できる。

### **過飽和酸素水注入法**

エアースパーキング工法の効果を広い範囲に拡大させる技術である。気体を液体中に閉じこめて放散させることで、地下水中には幅広い範囲に浸透すると考えられる。

### **水平井戸を用いたエアースパーキング工法**

本工法は、汚染された地下水を含む汚染土壌内に横穴を構築し、横穴内に通した管から空気を噴出し、地下水中の VOC を揮発させる技術。

### **共沈浮選技術**

酸化分解反応ではないが、土壌中の重金属類を抽出して浄化するとともに、土壌に含まれていた鉄粉と沈殿させて選別処理する技術。

## G. 掘削除去

課題 1	工費が高額である。 低コスト技術の開発。
------	-------------------------

### **掘削除去（大成基礎設計㈱）**

汚染深さが特定された単位区画ごとに掘削・除去し、汚染されていない良質土で埋め戻す。汚染土壌が現地に残存しないため、対策後の土地利用の制限がない。不動産評価への影響が極めて小さい。安価であり（掘削：3,600 円/m<sup>3</sup>、埋め戻し：3,200 円/m<sup>3</sup>、汚染処理：32,400 円/m<sup>3</sup>）、比較的短期間（2 週間程度）で対策可能である。

### **掘削・除去処理（㈱間組）**

汚染土壌をバックホウで掘削し、運搬ダンプに積み込み処理場まで運搬する。処理場ではゴミ金属などの除去分級をおこなった後、焼成処理をする。処理費用 32,000 円/m<sup>3</sup>。

## H 熱処理

- 課題 1 工費が高額である。  
処理温度を低温にする工夫をおこなう。
- 課題 2 処理能力が他の工法に比べると小さい。  
汚染浄化技術の処理能力向上。

熱処理では、汚染の条件によっては、費用が高額になり、処理能力が劣るという課題があるが、これらを踏まえた技術開発が多くなされている。

### 間接加熱分解法

本技術は、汚染土壌を 450～600℃、滞留時間 20～40 分で間接加熱し、汚染土壌中の PCB およびダイオキシン類の脱塩素化、酸化による芳香族環の開環、酸素架橋の切断により無害化するものである。土壌中の金属酸化物、金属塩化物などの触媒作用により、低温で処理できるため、コストが安くなる。他には、乾燥工程と減圧還元工程を分離した技術や汚染土壌を洗浄・分級・脱水により減量化させるという前処理をおこない、浄化効率を高める技術などがある。

### 汚染土壌処理施設・ジオスチーム工法

PCB、ダイオキシン類、残留農薬による汚染土壌の処理施設を北九州市に完成させた。浄化処理した土は土木原料やセメント原料として再利用できる。

ジオスチーム工法：土壌を加熱し、水分を蒸発させることで同時に汚染物質を除去する。次に、汚染物質を水蒸気で分解して無害にする。汚染物質が装置外に排出する危険性を抑え、薬品などを使用せずに済む。また間接熱脱着と水蒸気分解を組み合わせることにより、低コストで使用できる。(日経産業新聞 2007.8.7)

### 過熱蒸気による還元分解法

本工法はダイオキシン類汚染土壌およびPCB汚染土壌を間接加熱(加熱温度 500～700℃)するとともに、過熱蒸気を用いることにより、汚染物質を気化、分離させる。この気体を過熱蒸気とともに反応器に導き、加水分解を主とする反応によりCO、H<sub>2</sub>、HCl、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Oにまで分解、無害化する処理法である。本工法は加熱温度が低温であるため、投入エネルギーを抑制でき、安価である。

## I. 封じ込め

課題 1 汚染が残存する。

汚染浄化技術と組み合わせて、封じ込めの期間に浄化する機能を持たせる。

課題 2 組み合わせる技術が少ない。

汚染浄化技術と組み合わせて、封じ込めの期間に浄化する機能を持たせる。

土壤汚染対策法第 7 条第 4 項に関連する土壤汚染対策法施行規則において、封じ込めについては、汚染土壤を囲むようにして、汚染土壤の下の最初の不透水層まで鋼矢板などの遮水壁を打ち込み、その上面を遮水の効力を有するコンクリートの層またはアスファルトの層、あるいは必要に応じ厚さが 50 cm 以上の汚染されていない土壤の層により覆うことが原則とされている。さらに、直接摂取による健康被害リスクが生じないとするならば、盛土や封じ込めにより暴露経路を遮断すればよいと法律で推奨されており、例えば、地下 3 m の場所で高濃度重金属汚染が発生した場合、漏出して飛散する危険性がないので、掘削除去をする以前に封じ込め対策を施すことで十分である。

重金属汚染の土壤に対して封じ込め技術は原位置浄化技術以上の対策頻度があるが、VOC 汚染に対しては汎用性が高くない。その理由としては、工期が長いことや汚染を管理する必要があること、汚染が残存している所以对外的に理解を得にくいといったことが挙げられる。VOC 汚染の場合は液体もしくは気化して気体になる可能性があるため漏洩する可能性があり、長期的に保存していくことが困難であると推測できる。

## J. 固化・不溶化

課題 1 汚染が残存する。

他の浄化技術の併用。措置後に汚染が浄化していくようにする。

土壤中の汚染を化学的に管理することを考慮する場合、汚染物質を化学反応により無害な物質に転換させるといった手法がある。

固化は、セメント系、アスファルト系、ポゾラン系、珪酸塩系、熱可塑性ポリマー系などの固定化材と有害物質とを混合させて安定化する手法であるが、固定化材と汚染物質は分解されずにそのまま残るため、長期的な安定性に乏しいといえる。不溶化は、硫化ナトリウムやフェロシアン酸ナトリウムなどを土壤に混入させ、カドミウム化合物、鉛化合物、水銀化合物などと化学反応を起こさせ、有害物質を無害な塩に転換する手法である。

これらの手法は安定化された汚染物質が再び溶出してしまう可能性などがあり、管理が必要である。最近では、固化・不溶化に浄化する機能を持つ技術が開発されている。

## 最近の開発事例

### **特殊注入材による VOC 浄化**

汚染されている原位置にて、「特殊酸化鉄」と「特殊固化材」などからなる「特殊注入材」を一体として、スラリーまたは粉末状で攪拌混合することにより、VOC を還元分解すると同時に、硬化処理をおこなう工法である。

### **VAMP-crete 工法**

浄化薬剤として、酸化鉄と石膏系の固化材を使用し、地耐力を低下させることなく地中の VOC と反応させることで短期間に浄化させ、同時に土壌を固定化させる技術である。

### **水熱反応による土壌浄化技術**

土壌中のシリカ(SiO<sub>2</sub>)とセメントなど添加剤中の石灰分(CaO)を 120～250℃ で化学反応させることにより珪酸カルシウムを合成させ、化学的に安定した強度の高い結晶に成長させ、重金属類をその結晶の中に閉じこめることにより溶出を抑える手法。キレート固定化などの従来方式に比べ処理コストが 1/2～1/5 と大幅に低減できる。

### **シーリングソイル工法**

天然鉱物資源による反応を利用して、汚染土壌中の重金属類を不溶化し、基準値以下に改良する技術。天然の粘性土と鉱物資源を利用するため、薬剤による化学的処理などの従来技術に比較して環境に対する新たな負荷を基本的に与えない技術。

### **溶融固化法**

処理対象となる汚染土壌中に炭素電極を挿入し、電極間に通電することによって発生するジュール熱で汚染土壌を電氣的に加熱、溶融し、ダイオキシン類を高温熱分解するものである。溶融するにあたっては、電気抵抗の大きい土壌に通電しやすくするために、電気抵抗値を調整したカーボングラファイトなどからなる材料を用いて初期導電性抵抗路を敷設する。

溶融体の中心温度が 1600℃ 以上になるため、ダイオキシン類などの難分解性有機物を確実に無害化できる。また、有機化学物質は溶融過程で熱分解され、重金属は固化体中に封じ込められるかオフガス処理設備で除去される。したがって有機物と重金属などによる複合汚染物質にも適用可能である。一方、溶融処理後に生成される固化体は極めて安定で、有害物質を半永久的に閉じこめることが出来る。固化体は再生砕石として路盤材などへのリサイクルが可能である。

## 1.2.7 環境省などによる研究支援、技術の実証評価など

平成 16～18 年度に環境省で行われた実用段階にある土壌、地下水の汚染に関わる低コスト・低負荷型の調査・対策技術についての公募について、学識経験者などから構成される検討会で選定された技術を以下に示す（技術の詳細は参考資料 1 にまとめる）。

表 1-13 環境省による低コスト・低負荷型土壌汚染調査対策技術検討調査

年度	会社名	技術名	技術の分類
H16	アサヒ地水探査	短期原位置微生物活性型のバイオレメディエーション	原位置浄化
	大成建設	フッ素吸着材料を用いた原位置浄化技術	原位置浄化
	竹中工務店	地下水の有効利用を考慮したナノアイロンの注入技術	原位置浄化
	東和科学	比色式 NAPL 検出法	調査技術
H17	三井造船	間接加熱酸化分解法	熱分解
	東芝・テルム・鴻池組	間接熱脱着 + 水蒸気分解法	熱分解
	間組・スミコンセルテック	水洗分解処理技術	熱分解
	神鋼環境ソリューション	還元加熱法と金属 Na 分散体法との組合せ処理法	熱分解、化学分解
	環境エンジニアリング	湿式酸化ラジカル法による PCB 汚染土壌処理技術	化学分解
	三菱重工業	溶剤抽出法	土壌洗浄
H18	大旺建設	過熱蒸気による還元分解法	熱分解
	竹中工務店	減圧還元間接加熱分解法	熱分解
	早稲田環境研究所	加圧水洗浄分離間接加熱分解法	熱分解
	大成建設	3 価マンガノ錯体による湿式浄化工法	化学分解

出典：「環境省 (HP)」

環境省や非営利団体（海外を含む）などでは、土壌汚染に関する修復技術のデータベースを提供している。検索条件を浄化したい汚染物質や汚染現場の立地条件などから設定し、検索を実行することで、条件を満たす修復技術の一覧が出力される。さらに、出力された修復技術名の中から、参照したい修復技術を選択すれば、個々の技術の詳細情報を見ることができる。Center for Public Environmental Oversight (CPEO) の Tech list には、代表的な土壌汚染修復技術の詳細情報が満載されている。

## 第2章 鉱油類由来の土壤汚染対策について

### 2.1 鉱油類由来の土壤汚染対策に関する調査にあたって

平成15年2月に施行された土壤汚染対策法では、鉛、ヒ素、トリクロロエチレンなど27物質の特定有害物質について、必要な調査および対策の具体的な取り組み方法が、同法の施行規則により提示された。一方、土壤に残留した鉱油類については、油臭や油膜による生活環境上の苦情が周辺地域から出されることがあるものの、土壤汚染対策法の対象物質から外れており、どのような調査対策をおこなえば鉱油類による支障を解消できるかについて示されなかった。土壤汚染対策法の附帯決議の中では、「科学的知見の集積に努めるとともに土壤汚染の未然防止について早急に検討を進める」という指摘されている。欧米では鉱油類やこれに含まれる多環芳香族化合物(PAHs)が規制対象物質となっている。

このような状況を踏まえ、平成18年3月に環境省は油汚染対策ガイドラインを策定した。鉱油類を含有する土壤に起因して、その土壤が存在する土地の地表、あるいはその土地にある井戸の水や池・水路などの水に油臭や油膜が生じているときに、土地の所有者などが、その土地においてどのような調査や対策をおこなえばよいかなどについて、基本的な考え方と、取りうる方策の選択の際の考え方などをまとめたものであり、油汚染問題の解決を図るための参考資料になる。油汚染対策ガイドラインの産業界における活用状況、近年の鉱油類由来の土壤汚染対策についての課題については検討していく必要があると考えられる。

そこで、本章では、今後の鉱油類由来の土壤汚染調査対策実施の方向性を把握することを目的とした調査をおこなった。調査の内容は、油汚染対策ガイドラインの概要を整理するとともに、鉱油類中の物質や鉱油類を測定する手法など様々な観点から油汚染対策ガイドラインについての分析をおこなった。さらに鉱油類由来の土壤汚染調査対策に関する動向を文献およびインターネットから収集し、油汚染対策ガイドライン策定により鉱油類由来の土壤汚染調査対策にどのような方向性が見出せるかを推測した。

## 2.2 鉱油類由来汚染土壌に関する検討経緯

土壌汚染対策法では、人の健康保護を目的としており、生活環境に関わる鉱油類は対象物質とされていない。しかし、法制定時から、生活環境リスクについての対策必要性が課題として指摘されている。

平成 14 年 土壌汚染対策法の検討時

中央環境審議会答申「今後の土壌環境保全対策の在り方について」

近年報告されている土壌汚染の事例には、油による土壌汚染等生活環境の保全の観点からの対応が求められるものもある。このような生活環境保全の観点からの環境影響の防止も重要な課題であるが、これらに関する科学的知見等が現時点では十分に集積されていない。このため、早急に油による土壌汚染の実態把握、影響評価についての知見の集積を図る必要がある。また今回対象としていない土壌汚染のリスクや物質についても今後土壌汚染の実態把握、影響評価についての知見の集積に努める必要がある。

土壌汚染対策法附帯決議

- ・土壌汚染による生活環境や生態系への影響、油類等の汚染実態の把握などについて早急に科学的知見の集積に努めること（衆議院附帯決議）。
- ・土壌汚染による生活環境や生態系への影響、油類等の特定有害物質以外の他の物質による土壌汚染の実態把握などについて早急な科学的知見の集積に努めるとともに、土壌汚染の未然防止措置について早急に検討を進めること（参議院附帯決議）。

平成 15 年 2 月 土壌汚染対策法施行

平成 18 年 3 月 環境省 油汚染対策ガイドライン発行

平成 19 年 本年度に環境省で開催されている「土壌環境施策に関するあり方懇談会」において、油汚染土壌や生活環境保全・生態系などを論点としている。

## 2.3 油汚染対策ガイドラインについて

### 2.3.1 油汚染対策ガイドラインの対象物質

油汚染対策ガイドラインの対象物質は、土壌あるいは池や井戸などの水中に含まれる鉱油類に限っている。鉱油類とはガソリン、灯油、軽油、重油などの燃料油と、機械油、切削油などの潤滑油を示し、生活排水に含まれるサラダ油などの動植物油とは異なる。なおアスファルトはガイドラインの対象となる鉱油類としていない。

鉱油類は、常温で液体であり、水に不溶で、粘性があり、水より比重が小さく、それ自体が燃焼する。表 2-1 に鉱油類の主要成分について主な物性を示す。

一般に鉱油類はそのほとんどが炭化水素から構成されているが、炭化水素の性質上、4種類の構成成分、つまり脂肪族炭化水素、芳香族炭化水素、レジン分、アスファルテン分からなることが分かっている。炭化水素の性質は炭素の数と構造によって異なるが、それぞれの石油構成成分の炭素数を図 2-1 に示す。液化天然ガス（LPG）やガソリンなどの軽く揮発しやすい油種はほぼ脂肪族炭化水素から構成されるが、灯油や軽油は炭素数のより大きな脂肪族炭化水素や芳香族炭化水素を含む。また、C 重油はレジン分やアスファルテン分を含む重い油となる。

汚染土壌を放置した場合は、環境中で酸化・還元などにより性状が変質する場合もある。そのため土壌中の鉱油類全体の濃度や、成分の濃度を逐一定量分析するのは困難であり、油臭や油膜の程度は基本的に人の感覚によって総体として捉えることになる。

表 2-1 油汚染対策ガイドラインの対象となる鉱油類

油種	沸点 [ °C ]	比重 [-]
液化天然ガス	- 42 ~ - 1	0.5 ~ 0.6
ガソリン	35 ~ 180	0.72 ~ 0.76
灯油	170 ~ 250	0.78 ~ 0.82
軽油	240 ~ 350	0.80 ~ 0.85
A 重油	250 ~ 370	-
C 重油	250 ~ 650	-
潤滑油	350 ~ 600	0.82 ~ 0.95
タール(石炭由来)	130 ~ 600	1.0 以上

出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

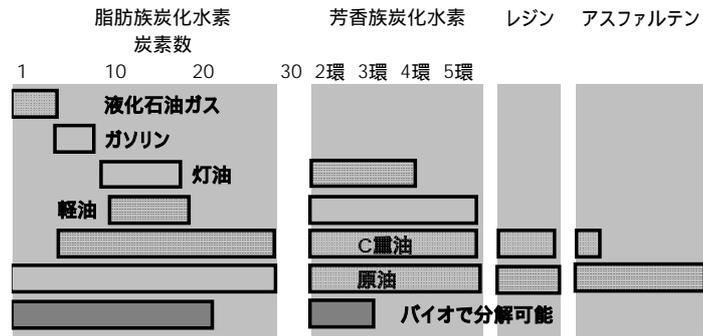


図 2-1 油の種類と構成成分および生分解される成分

出典：「資源環境対策」(2007)

### 2.3.2 油汚染対策ガイドラインの対象地域

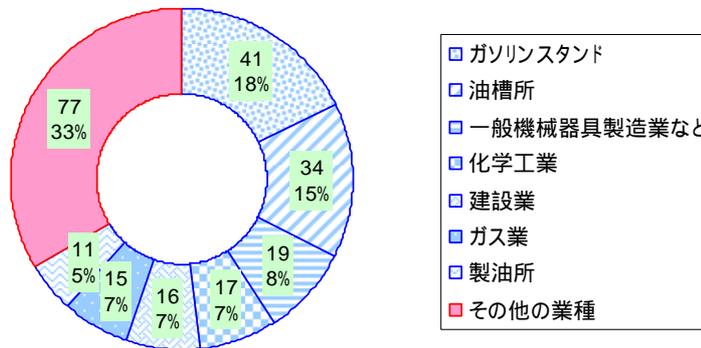
油汚染対策ガイドラインの活用を想定する状況、想定しない状況の具体例を表 2-2 に示す。

表 2-2 油汚染対策ガイドラインが想定する状況および想定しない状況

<p><b>想定する状況</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・一般的な工場や事業所の敷地、市街地</li> <li>・飲用の井戸水、敷地内の水路を流れる水、修景用の池の水</li> </ul>
<p><b>想定しない状況</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・線路・道路などの施設での対応</li> <li>・タンクローリーの転倒などの事故直後の対応</li> <li>・地下深くの水道管や下水道管への油の侵入への対応</li> <li>・米軍基地内</li> <li>・油水分離器内の水のように油があることが当然である場所</li> </ul>

出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

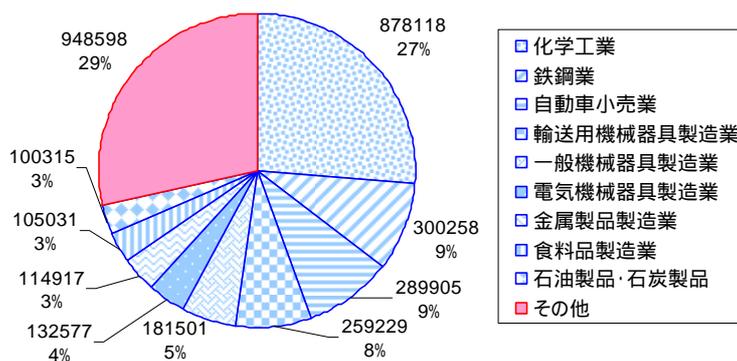
平成 14 年に社団法人土壌環境センターが報告した調査によると、実際に油による土壌汚染が生じているサイトは、実際に対策を実施した 230 件のうち、ガソリンスタンドと油槽所が合わせて 32.6 % (75 件) を占める。一般機械器具製造業、化学工業、建設業がそれに続く(図 2-2)。一方、平成 19 年に環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部が取りまとめた調査によると、平成 16 年度の業種別廃油排出量は、化学工業が 3 割近くを占めており、鉄鋼業、自動車小売業、輸送用機械器具製造業と続く(図 2-3)。



(n=230, 対策を行った企業数)

図 2-2 鉛油類由来汚染対策をおこなったサイト

出典:「油汚染土壌調査・評価手法検討調査報告書」(2002)



((全体)=3,310,449 [t/年], 産業界における鉛油類排出量)

図 2-3 業種別廃油排出量推計値(単位:t/年) (平成 16 年度実績)

出典:「産業廃棄物排出・処理状況調査報告書」(2007)

注)「廃油」には鉛油類以外の動植物油類なども含まれている。

### 2.3.3 鉛油類由来汚染に対する対応の考え方

油汚染対策ガイドラインでは、鉛油類由来の汚染は鉛油類を総体として捉えるようにするには、現状では人間の感覚に抛らざるを得ないとしており、嗅覚や視覚を補完し、関係者の共通の理解を得るための手段としては TPH 濃度を用いることとしている。

鉛油類由来の汚染に対する対応の基本は、地表や井戸水などの油臭や油膜から生ずる、人が感覚的に把握できる不快感や違和感をできる限り軽減し、感じられなくなるようにすることである。

### 2.3.4 状況把握調査方法

現在使用している土地あるいは井戸水が油汚染対策ガイドラインの対象になるかどうかは、地表や井戸水表面に油臭や油膜があるかという感覚的な判断による。地表に油臭があるかどうかの判断は、児童公園などのように利用者が地表の土壤に触れることが想定される土地利用については地面のすぐ上で油臭があるかという観点で、その他の土地利用の場合は、大人が立った状態で油臭を認識するかどうかという観点でおこなう。また、井戸水の場合は、井戸水を採取し、水の臭いを嗅いで油臭の有無を判定する。

感覚のみの判断を補完する調査方法として、油臭や油膜が生じている土壤または井戸水などを採取して分析する TPH(Total Petroleum Hydrocarbon)試験が挙げられている。この手法により、汚染土壤中の鉱油類の濃度が暫定的に確認できる。土壤の場合、試料は 15, 50 cm, 1, 2, 3, 4, 5, 6 m の深さのところでは採土器あるいはボーリングマシンなどを用いて採取する。採取をおこなうのは、現地踏査で油臭、油膜が感覚的に認識される大まかな範囲を含む範囲内で複数点とする(図 2-5 左)。この調査範囲は費用のことを考慮して後に述べる対策調査の段階で最小限まで狭めることも可能である(図 2-5 右)。

試料に含有する成分は、水素炎イオン化検出器付きガスクロマトグラフ(GC-FID)法により分析結果として得られるクロマトグラムのパターンより鉱油類か否かを判断する。クロマトグラムのピークパターンから炭素数により油種を判別できる。C<sub>6</sub>~C<sub>12</sub>はガソリン、C<sub>12</sub>~C<sub>28</sub>は軽油、C<sub>28</sub>~C<sub>44</sub>は残油の炭素範囲である。GC-FID法はガスクロマトグラフィの一種であり、試料中の油分を溶媒で抽出した後、熱をかけて測定成分を気化させる。電極間に流れる電流量がTPH成分量に比例することを利用してTPH濃度を求める。この電流量は、クロマトグラム内の対象範囲の面積を合計して求める。

TPH 濃度は以下の式から算出する。

$$C_s = \frac{A_s \times V_t}{W_s} \times \frac{100}{100 - S_w} \quad (2-1)$$

C<sub>s</sub> 土壤中 TPH 濃度 [μg/g]、A<sub>s</sub> 抽出溶液中の TPH 濃度 [μg/ml]、V<sub>t</sub> 抽出溶媒量 [ml]、W<sub>s</sub> 抽出した試料の重量 [g]、S<sub>w</sub> 含水率 [%]である。

同じ土壤範囲について複数点 TPH 濃度を求める。油臭がないと思った場所で測った土壤 TPH 濃度(無臭 TPH)の最大値を、「対策検討範囲設定濃度」とする(図 2-6 左)。無臭 TPH の最大値が、油臭があると思った場所で測った土壤 TPH 濃度(有臭 TPH)の最小値よりも大きくなる場合は、有臭 TPH の最小値よりも小さい範囲で最も大きな無臭 TPH を「対策検討範囲設定濃度」とする(図 2-6 右)。

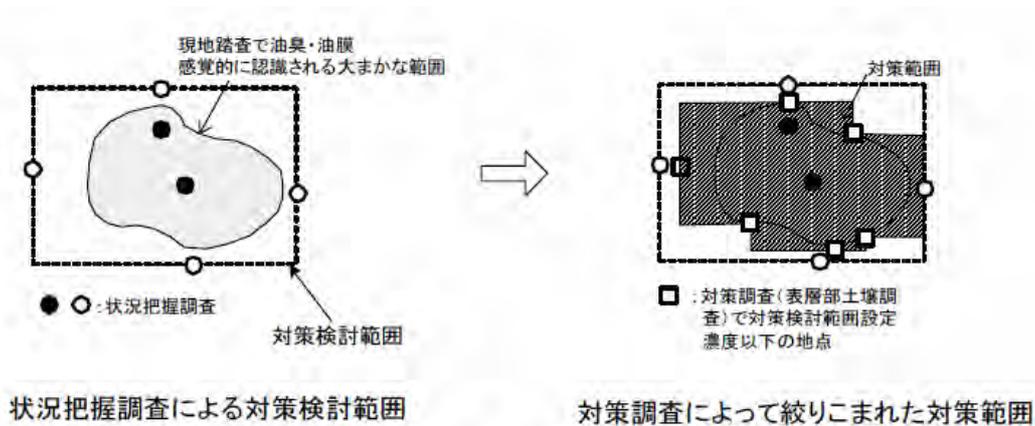


図 2-4 状況把握調査および対策調査による対策範囲の絞り込み

出典:「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

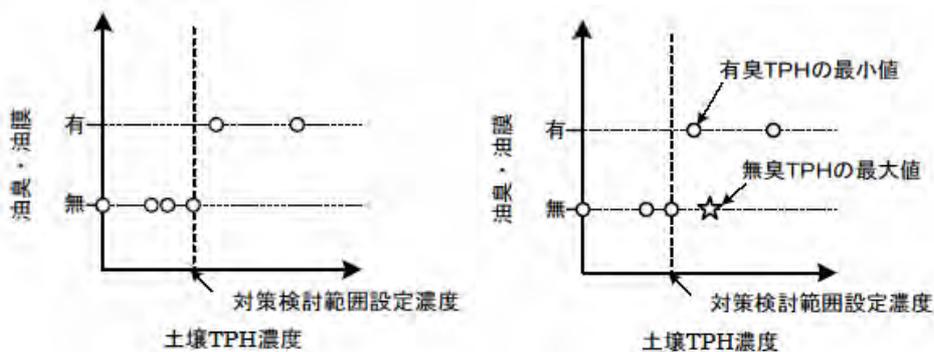


図 2-5 対策検討範囲設定濃度

出典:「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

上記以外の TPH 濃度を測定する方法には、赤外分光分析法(IR 法)、重量法(ノルマルヘキサン抽出法)が列挙されている。TPH 濃度を測定することで、鉱油類の総体としての濃度が定量的に把握でき、「対策検討範囲設定濃度」を超えた地点で油汚染対策をおこなうというように TPH 濃度を油汚染対策の指標として用いることもできるとしている。しかし、鉱油に含まれる具体的な成分とそれぞれの濃度を確定することができないという難点がある。

油汚染対策ガイドラインでは TPH 濃度を把握した後、厳密に油含有土壌の分布状況を把握し、対策範囲の絞り込みの必要性の有無、対策技術の合理性、経済性を検討するために、必要に応じ対策調査を実施することとしている。調査測定地点は、必要最小限となるように設定するのが適当としており、必要に応じて、表層部土壌調査により平面範囲を絞り込み、深層部土壌調査により油含有土壌の深さ方向の詳細な分布を把握する。深層部調査の調査深度は対策が必要な範囲の深さに応じて設定する。調査の結果、汚染が判明した場合、対策のための作業可能日数、平均対策量、対策速度、対策に必要な設備、機械、人員および資機材の調達などの計画を立てる。

## 2.3.5 技術対策方法

油汚染のあることが判明した場合、状況把握調査の結果をもとに現場の状況に適した対策をおこなうこととなるが、対策をおこなう前に次の点について確認検討する必要がある。

### (1) 周辺の状況

地形について：河川低地、丘陵地、扇状地、海浜埋め立て地、内陸造成地など地形はどれか。平坦地か、傾斜地か。段差の有無。

地質について：砂礫、砂、シルト、粘土、コンクリートなど地質はどれか。地盤の固さ。井戸水であれば、水位の高低、土壌の含有度合い。

気象について：晴天が多い地方か、雨天が多い地方か。季節による天候の変動は大きい。降雪や積雪の可能性はあるか。台風が度々来襲するところか。

敷地の大きさや形状：面積はどのくらいか。円形状、楕円形、正方形、長方形、台形など形状はどれか。

構造物の有無や施設の状況：更地か、基礎構造物があるのか。地下埋設物や地下室があるのか。

供給施設などの整備状況：電気・ガス・水道・電話の利用状況。

周辺環境：市街地、海岸の埋め立て地、内陸工業団地などどの地域に位置するか。周辺地との標高差。最も近接する建物などの構造物や施設との距離。近くに学校や病院などの公共施設はあるか。騒音や振動に関する規制値はどのくらいか。早朝・夜間や休日作業への作業規制があるのか。

道路情報：周辺の道路幅はどのくらいか。一方通行や速度制限、車両規制などの交通規制の状況はどうか。近くに重量制限を設けている橋梁、高度制限を設けているトンネルはあるか。

### (2) 土壌汚染対策後の土地利用

更地にするのか、敷地内に既存の建造物や施設を残すのか。用途は住居・商業・工業地域などいずれか。

### (3) 対策の目標

地表の油汚染に対しては、建物脇、道路など一般的に立った状態で使用する土地については、大人が立った状態で油臭や油膜による生活環境保全上の支障がないようにする。公園の遊び場や緑地などに使用する場合は、地面に寝そべった状態で油臭や油膜による生活環境保全上の支障がないようにするというのを対策目標に設定するのが基本になる。

一方、現状の地表面の高さを変更することができないために盛土が不可能であるなどの場合には、油含有土壌の浄化を対策目標にすることが合理的になる場合もある。

(4) 対策技術・方法

設定した対策目標を達成させるために、対策に必要な設備、機械、人員、対策期間、対策費用などを検討し、環境と経済の面で合理性が高い対策技術を選定する。以下に具体的な対策技術について特徴点、注意点などをまとめた。

土壤汚染

A. 地表への油臭・油膜の遮蔽

汚染土壌の上から土壌やコンクリートなどで覆う方法としては、盛土と舗装がある。

表 2-3-1 盛土および舗装

工法名	盛土	舗装
概念図		
技術概要	土壌表面を盛土材で覆うことにより油臭や油膜を遮蔽する方法。	対策範囲の上面を舗装することで土壌の油臭や油膜を遮蔽する方法。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌を使用用途に合わせた形に造成できる。</li> <li>・操作が容易で安価。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高額だが道路や駐車場、市街地、商業地など多くの用途で使用できる。</li> </ul>
注意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・盛土が飛散や流出により損壊しないようにする。</li> <li>・盛土の厚さを一定以上にする。</li> <li>・清浄土を使用する。</li> <li>・透水性の大きい材料や微細な材料では鉱油類の漏洩があり得る。</li> <li>・盛土の自重、建物による土壌の沈下を防ぐため、ローラーでの転圧などで地盤補強が必要。</li> <li>・植栽など舗装の浸食防止が必要。</li> <li>・油拡散防止のため周辺に側溝を設け、盛土の安定を確保する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気密性に劣る透水性舗装や、油分で性状が変化するような材料を利用する特殊舗装は好ましくない。</li> <li>・長期的な安定確保のため、地盤条件、気象条件を考慮する。</li> </ul>

出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

さらに舗装についてはコンクリート舗装、アスファルト舗装がある。

コンクリートは、砂や砂利、水などをセメントなどの糊状のもので結合したものを指す。圧縮力には強いが引張力には弱い。鉄筋を入れることで引張力を鉄筋が補うので、いずれの力にも十分な強度を持たせることができる。生成してから強度を十分に得るまでにかかる期間を養成期間という。またコンクリートは凍結防止剤、海水などに含まれる塩化物、二酸化炭素、温度・湿度の変化、pH など様々な条件により劣化を生じる。

アスファルトは、原油に含まれる炭化水素類のうちで最も重質のものである。黒色ないし黒褐色を呈し、常温で固体もしくは高粘度の液体の縮合多環芳香族を主成分とする複雑な物質である。ペンタンとヘキサンに溶けるペトロレンと、溶けないアスファルテンとからなる。

以下にそれぞれの特徴点、注意点について示す。

表 2-3-2 舗装の種類と遮蔽の観点からの長所と短所

工法名	コンクリート舗装	アスファルト舗装
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面が波打ったり変形したりしない。</li> <li>・表面の耐摩耗性が大きく耐力がある。</li> <li>・盤の耐力が大きく集中荷重に強い。</li> <li>・耐用年数が長い(20 年以上)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・可塑性があり不等沈下<sup>1)</sup>に対応可能。</li> <li>・養成期間が短く、すぐ使用できる。</li> <li>・補修が容易である。</li> </ul>
注意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気温変化による収縮膨張影響を受けやすいため、繋ぎ目を設ける必要がある。</li> <li>・強度の発現に 28 日程度の養成期間が必要である。</li> <li>・補修に手間がかかる。</li> <li>・不等沈下に対応しない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・耐用年数が短い(10 年程度)。</li> <li>・接地圧の大きい静止荷重や同一地点の繰り返し荷重で窪みや轍ができやすい。</li> <li>・油分に弱く、気温の影響も受ける。</li> <li>・根の成長で破壊するので下地を抜根する必要がある。</li> </ul>

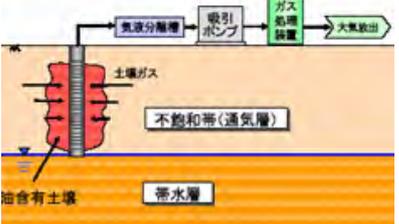
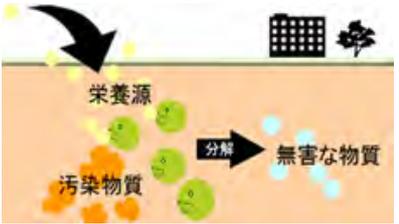
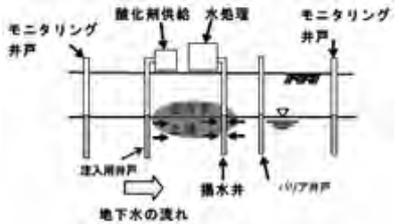
出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

1 不等沈下とは、地盤沈下の一種であり不均等に地面が沈む現象のことをいう。このような場合、建物が傾くようなことや路面に凸凹や亀裂を生じることなど、地盤沈下の中でも最も影響を受ける。コンクリートは集中荷重には強いが、大きな地盤の変化には軟弱であると考えられる。一方でアスファルトは、集中した繰り返しの圧力に弱い、周囲の大きな変化に柔軟に対応できると考えられる。

## B. 油含有土壌の浄化・掘削について

a 土壌汚染物質を移動させないで浄化・修復技術をおこなう原位置処理法には、土壌ガス吸引、バイオレメディエーション、化学的酸化分解がある。それぞれの技術の概要、特徴、注意点について表 2-3-3 に示す。原位置浄化技術の適用性について表 2-3-4 に示す。

表 2-3-3 原位置浄化法について

工法名	土壌ガス吸引	バイオレメディエーション	化学的酸化分解
概念図			
概要	地下に存在する揮発成分を吸引孔で減圧吸引し、抽出除去する。	地中に空気や栄養塩を供給し、油分の分解を促進する。	酸化剤を地下水に注入することで油分を分解させる。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・狭小地に適している。</li> <li>・低騒音である。</li> <li>・自動運転が可能である。</li> <li>・前後処理が必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・幅広く油膜・油臭を改善させる。</li> <li>・建屋下に適用できる。</li> <li>・費用が安価である。</li> <li>・二次公害の心配がない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重油にも適用できる。</li> <li>・反応が速いため、酸化剤の到達範囲の広がりには限界がある。</li> </ul>
注意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・揮発成分のみ適用。</li> <li>・回収効率は礫・砂質層で高く、シルトや粘土層で低い。</li> <li>・引火・爆発性の気体を回収する時は防爆型の設備を整える。</li> <li>・地下水位より深い場所の汚染は地下水揚水との併用が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・注入薬剤の拡散を制御する必要がある。</li> <li>・浄化期間は微生物の増殖速度に依存し、数ヶ月～数年かかる。</li> <li>・水位変動に応じ、飽和帯、不飽和帯に存在する油分の浄化が可能な方法を選択する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉱油類以外の有機物が多量に含まれると、効率が悪い。</li> <li>・酸化剤による埋設物の劣化。</li> <li>・二次公害があり得る。</li> <li>・未反応の酸化剤の毒性が懸念されるので、バリア井戸などの管理が必要である。</li> </ul>
備考	<ul style="list-style-type: none"> <li>・好気的な微生物分解の促進も可能である。</li> <li>・掘削土壌を対象にできる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオスティミュレーション<sup>2</sup>を用いる場合は油分を分解する土細菌の存在が必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・酸化剤の濃度や添加量を設定するために、事前にトリタビリティ試験が必要である。</li> </ul>

出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

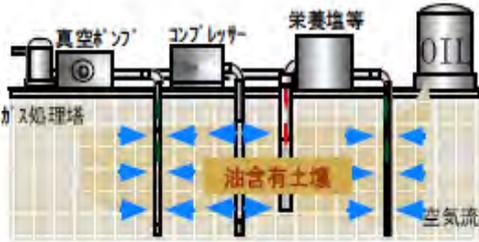
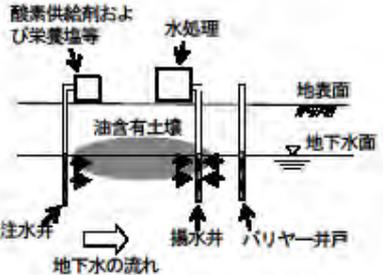
表 2-3-4 原位置浄化技術の適用性

適用条件	工法名	土壌ガス吸引	バイオレメディエーション	化学的酸化分解
油種	ガソリンなど			
	灯油、軽油、A重油等			
	C重油、機械油、原油等	×		
適用場所	砂礫			
	シルト			
	粘土	×		
	地下水	-		

出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

原位置バイオレメディエーションには、バイオベンディング工法と酸素供給工法がある。

表 2-3-5 原位置バイオレメディエーションについて

工法名	バイオベンディング工法	酸素供給工法
概念図		
概要	不飽和層に井戸を設置し、吸気・送気や栄養塩の投与をおこなう。	帯水層内の汚染土壌に対して曝気をおこない、酸素・栄養塩などを供給する。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>揮発性油や軽質油の分解に効果がある。</li> <li>砂質土の効率が特に高い。</li> <li>地上からや井戸に沿った漏気を防ぐためのシールが必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>注入により油分が拡散するおそれがあるため、遮水壁を設けるか、バリア井戸で制御する。</li> <li>透水性の高い地盤の方が効率が高い。</li> </ul>
注意点	濃度が高い箇所では、吸引圧を高め強制的にガスとして初期には回収運転する。	井戸から供給した酸素や、栄養塩の供給範囲を確保するため、別途揚水井戸を設ける。

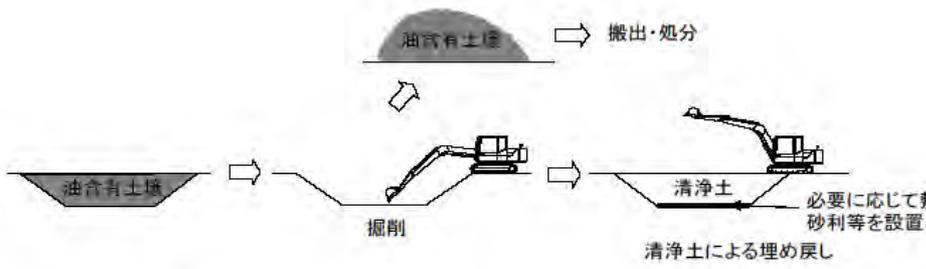
出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

2 原位置 (In-Situ) におけるバイオレメディエーションには他にも様々な工法がある。

- 1 バイオベンディング(BV)：土壤微生物が鉱油類などの有機物を効率よく分解するために電子受容体である酸素を十分に供給する技術である。ブローポンプによる酸素注入タイプと真空ポンプによる酸素吸引タイプがある。
- 2 バイオデグラデーション(BD)：微生物の活性を、栄養液を循環させることで高める。
- 3 バイオスレーピング(BS)：BSには地下貯留タンクなどから漏洩したフリープロダクトの回収と土壌中に残留する物質の微生物分解という2つの技術が導入されており、物理的、生物化学的な浄化技術を結合したハイブリッド型となっている。
- 4 バイオフィーミング(切り返し法)：定期的に土壌を切り返して土壌間隙中に空気を供給する工法。
- 5 バイオパイリング(強制通気法)：ブローなどで土壌中に空気を強制的に供給する工法。
- 6 バイオスティミュレーション：窒素やリン酸を含む栄養塩と酸素を汚染土壌に供給し、汚染土壌中に存在する鉱油類分解微生物を活性化させ、鉱油類を分解除去する技術。
- 7 バイオオーグメンテーション：有害物質の分解に有効な微生物を選定・添加する方法。
- 8 地下水循環処理：酸素や栄養分を添加した水を汚染領域に供給し、地盤に存在する微生物を活性化する方法である。帯水層を浄化対象としている。土の掘削が不要で建物直下の汚染浄化が可能である

- b 掘削除去は、油含有土壌を掘削し、清浄土で埋め戻すことにより、油臭や油膜による生活環境保全上の支障を除去する方法である。本操作は操作が容易で、安価であるが、掘削除去後の土壌処理は煩雑であり、あわせると費用は膨大になる可能性がある。

表 2-3-6 掘削除去について

工法名	掘削除去
概念図	
概要	<p>油含有土壌を掘削除去し、除去した後を清浄土で埋め戻すことにより、油臭や油膜による生活環境保全上の支障を除去する方法。</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表面の高さは自由に選定できる。</li> <li>・敷地内で浄化处理する場合は、熱処理や土壌洗浄処理はプラントを設置するための費用が膨大である。</li> </ul>
注意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱処理、土壌洗浄処理およびバイオレメディエーションの適用性についてトリータビリティ試験による適用性の確認が必要である。</li> <li>・土地内で浄化处理する場合には、熱処理や土壌洗浄処理はプラントを設置するための費用が大となり、大量の処理対象土がある場合に費用対効果が大きくなる。</li> <li>・建物などの構造物がある場所では掘削は困難である。</li> <li>・対策範囲の規模が大きいか油分の濃度が高い場合は、処分費が高額になる。</li> <li>・深度によっては土留工の設置を要する。</li> <li>・掘削底面に比べて地下水位が高い場合には廃水処理対策を講じる。</li> <li>・敷地外施設に浄化处理・処分を委託する場合、関係法律などを遵守し、二次的な環境汚染を未然に防止する。伝票などを用いて搬出土壌の流れを管理する。</li> </ul>

出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

掘削後の搬出土壌の処理方法には、熱処理、土壌洗浄、セメント原材料化、バイオレメディエーションなどがある。それぞれの技術の詳細を表 2-3-7～10 に示す。

表 2-3-7 搬出土壤の処理技術（熱処理）

工法名	熱処理
概念図	<p>熱分解処理(800～1000 ):</p>
	<p>熱脱着処理(400～600 ):</p>
	<p>加熱乾燥処理(200～300 ):</p>
概要	油含有土壤を加熱し、油分を分解、分離することで浄化する対策技術である。
特徴	・幅広い土質に対応可能である。 ・確実性が高い。
注意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱分解(焼却、焼成、熔融)では、非意図的物質の生成が懸念される。</li> <li>・設備の仕様面から粒度調整や解砕などの前処理が必要となる。</li> <li>・分解生成物を捕捉するために排ガス処理が必要になる。</li> <li>・コストが高く、低濃度では経済的でない。</li> <li>・浄化後の土壤が変質し、建設材料に適さない場合がある。</li> <li>・設備面や効率面からある程度以上の規模で連続運転する必要がある。</li> </ul>

出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

表 2-3-8 搬出土壤の処理技術（土壤洗浄）

工法名	土壤洗浄
概念図	
概要	洗浄プラントで油分を土から分離し、土壤の油分濃度を下げる。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・油分を分離した土地を再利用できる。</li> <li>・他の技術と組み合わせ、更なる高度処理が可能である。</li> </ul>
注意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・揮発性・爆発性の高い物質の適用に劣る。</li> <li>・水処理の必要がある。</li> </ul>

出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

表 2-3-9 搬出土壤の処理技術（セメント原料化）

工法名	セメント原料化
概念図	
概要	掘削した土壤をセメント製造施設に搬入し、原料化する。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セメント材料として、再度有効利用できる。</li> </ul>
注意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非意図的物質の生成に留意する必要がある。</li> <li>・セメント会社ごとに設けられた受け入れ基準を満たす必要がある。</li> </ul>

出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

なお、掘削後バイオレメディエーションは、掘削後の油含有土壌に空気などを供給して微生物の成長を促進させ油分を分解する。空気などの供給の仕方の違いによって、ランドファームリング工法とソイルパイル工法がある。

表 2-3-10 搬出土壌のバイオレメディエーション<sup>3</sup>

工法名	ランドファームリング工法	ソイルパイル工法
概念図		
概要	油含有土壌を耕して畝を作り、攪拌、切り返しながら処理する。	汚染土壌を盛り立て、吸引管を設置し、酸素を供給する。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・盛土厚は、50～150 cm ほど。</li> <li>・粘性土の処理も可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境条件を制御しやすい。</li> <li>・排ガスや浸出水を管理できる。</li> <li>・耕す必要がないため、盛土を高くでき、狭い作業用地で施工ができる。</li> </ul>

出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

<sup>3</sup> 掘削除去後のバイオレメディエーションにはプラント、畝などでおこなわれる浄化 (Ex-Situ) についても様々な工法がある。

- 1 コンポスティング：汚染土にバルク材を混合し、機械攪拌あるいは空気供給によって浄化する。コンポストで畝を作り、機械的に攪拌するウインドロー式、容器内にコンポストを入れ機械式攪拌および空気供給をおこなうインベッセル式、開放式のコンポスト底部に配管を設置し、空気の供給をおこなうベルツヴィル式がある。
- 2 リアクター処理：汚染土に水を加えスラリー状にし、反応槽中で分解微生物や栄養塩を添加し、攪拌混合する方法。制御が容易で短期間で処理できる反面、コストが高い。

## 井戸水や水路などの汚染

- ・井戸水などへの油分の拡散防止

井戸水や水路が汚染土壌の近くに存在する場合は、周囲への油分の拡散を防止するために、遮水壁やバリア井戸といった方法で油分の周囲を壁などで覆う。また井戸内に油分が侵入しており、地下水一帯に汚染が広がっている場合は、地下水揚水で浄化対策をおこなう。それぞれの手法の概要、特徴などは下表の通りである。

表 2-3-11 井戸水周辺の対応

工法名	遮水壁	バリア井戸	地下水揚水
概念図			
概要	油含有土壌の周囲または地下水下流側に連続的な壁を設置し地下水を介した周辺への油分の拡散を防止する。	油含有土壌範囲の地下水下流側に揚水井戸を配置し地下水を介した周辺への油分の拡散を防止する。	井戸などから地下水を揚水し、地下水中に存在している油分や地下水面上に存在する油相を回収する。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対策範囲が大規模で、地下水の透水性が低いときにも有効。</li> <li>・地中連続壁やソイルセメント壁は長期的な処理に優れる。</li> <li>・ボーリング機械などの小型設備を用いることで工事ができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対策範囲が小さく地盤の透水性が高い場合に効率が高い。</li> <li>・構造物近くの施工が可能。</li> <li>・設置・作業場所が狭くても施工可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・回収効率は礫・砂質層で高く、シルトや粘土層で低い。</li> </ul>
注意点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大型の重機械を使用できる用地が必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・揚水井戸の地下水流の上流側で油分の移動や拡散が起きる場合があるので、井戸の配置には慎重な配慮が必要になる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高粘性油には移動促進の効果が期待できない。</li> <li>・引火性、爆発性の気体を回収する場合は防爆型の設備を整える。</li> </ul>
備考	遮水壁には、鋼製矢板の他に、地中連続壁、薬液を使用する注入固化工法などがある。		油相の移動促進などを目的として、土壌ガス吸引を併用することもある。

出典：「油汚染対策ガイドライン(環境省)」(2006)

## 2.4 鉱油類由来の土壤汚染対策のあり方

### 2.4.1 鉱油類由来の土壤汚染対策の現状

平成 19 年 3 月 31 日現在における危険物施設の総数は 49 万 6,789 施設（対前年比 9,456 施設、1.9 % 増）となっている。施設別に見ると、地下タンク貯蔵所が 22.4 %（11 万 1,204 施設）と最も多く、次いで給油取扱所が 15.4 %（7 万 6,310 施設）、移動タンク貯蔵所が 15.4 %（7 万 6,262 施設）となっている（図 2.6）。

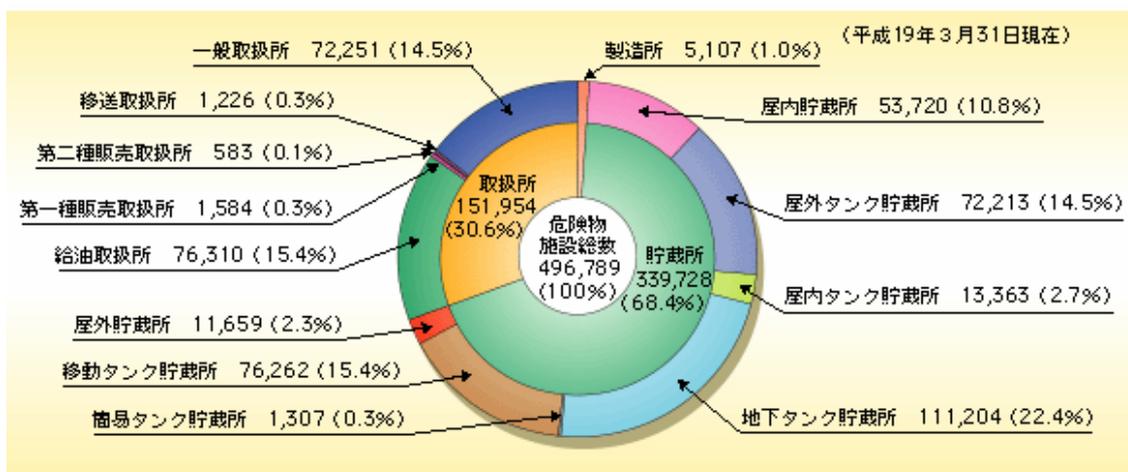


図 2-6 危険物施設数の状況

出典：「消防白書（消防庁）」（2007）

鉱油類による土壤汚染の原因には、油槽所やガソリンスタンドなど貯蔵所におけるタンクおよび鉱油類保管設備の劣化や破損による漏洩、機械油の大量使用、ガソリンの不注意による飛散など取扱所における汚染などが考えられる。

危険物施設における漏洩事故のうち約 30%が腐食など劣化によるものであり、腐食など劣化に起因する漏洩事故の約 3 分の 2 は地下タンク・地下配管において発生している。

平成 14 年に社団法人土壤環境センターが報告したアンケート調査によると、鉱油類由来の汚染原因は、59.1 % (68 件/115 件) がタンク、施設よりの漏洩、浸透であった。施設における使用による汚染は 13.9 % (16 件/115 件)、事故による鉱油類の漏洩は 7.0 % (8 件/115 件) にとどまっていた。

また、鉱油類由来の土壤汚染調査をおこなう契機は、土地の売買のためが 54.4 % (74 件/136 件) と最も多く、土地を売買するときに買い手側が要求することが多いことが推測できる。アンケート調査においても、鉱油類汚染があると、土地の売却価格が下がる、土地が売れない、近隣より浄化処理の要求があるといった社会経済的問題が起きていることが確認できた。

鉱油類由来の土壤汚染対策については、ガソリンスタンドにおける汚染土壤の対策には、多額の費用がかかることが分かっている。ガソリンスタンドにおける汚染土壤の対策費用の例を以下の表に示す。対策費用は汚染状況などによって大きく異なる。

表 2-4 ガソリンスタンド土壤汚染浄化費用

対策方法	浄化費用
掘削し場外に搬出して処理	約 1,200 万円
掘削し微生物分解後、埋め戻し	約 400 万円
地下水汚染を揚水処理	約 1,000 万円

出典：「社団法人全国石油協会(パンフレット)」

## 2.4.2 鉱油類由来の土壤汚染防止措置

昭和 34 年に施行された消防法では、火災危険性が高い鉱油類などを危険物と指定し、火災予防上の観点からその貯蔵、取扱いおよび運搬についての規制をおこなっている（参考資料 3 - 第 10 条）。また消防法関連法案において、鉱油類保管施設などの危険物施設に対して、施設の位置、構造および設備に関する技術基準ならびに鉱油類の貯蔵、取り扱いなどの基準の整備について、安全確保の徹底を図ってきた。

鉱油類に関する土壤汚染を未然に防止するためには、鉱油類施設の設置環境などにも配慮した腐食防止・抑制対策を講ずるとともに、資源の有効活用、廃棄物の削減などの観点から、鉱油類施設を未然に改修し、継続して使用するための方策に係る検討をおこなう必要がある。鉱油類汚染防止については消防法では、原油、ガソリン、重油などの鉱油類を貯蔵しているタンクなど危険物施設に対して、腐食等劣化などによる危険物の漏洩、火災が発生しないように定期点検が義務づけられている（参考資料 3 - 第 14 条 3 の 2）。

消防機関などにより構成される「危険物等事故防止対策情報連絡会」において「危険物事故防止アクションプラン」に基づく取り組みが推進されている（参考資料 4）。ここでは、共通重点項目として危険物施設および少量危険物施設の法令に基づく点検、日常点検が推進されている。また重点項目には、危険物施設における潜在的火災危険要因の把握とこれに基づく対策の推進、地下タンク、配管、屋外タンク等の腐食・劣化防止対策の推進、屋外タンク解放時等における事故防止対策の徹底が挙げられている。

本アクションプランにおいて、地下タンク、配管、屋外タンク等には、二重殻タンクおよび二重殻配管、一重殻タンクへの高精度測定漏洩検知システムや電気防食システムの導入が推進されている。その他、セルフスタンドにおける給油時の吹きこぼれ対策、危険物輸送の安全性向上、従業員への保安教育・訓練の徹底、危険物施設の保安体制、マニュアル、自主管理点検表等の整備などが推奨されている。

### 2.4.3 鉱油類について

油汚染対策ガイドラインでは、鉱油類を液化石油ガス(LPG)、ガソリン、灯油、軽油、重油などの燃料油と機械油、切削油などの潤滑油に分けているが、いずれも多くの構成成分の混合物であり、それぞれを構成する成分も数多い。また土壌に浸透した鉱油類は、土質、土壌中の水分量、温度、水・空気などによる酸化、微生物などの様々な影響により、変質を受けることが知られている。これらを含めると対策すべき鉱油類の成分数は非常に多くなることが推測される。

### 2.4.4 鉱油類汚染の判断基準

TPH (全石油炭化水素: Total Petroleum Hydrocarbons) は鉱油類中の全炭素成分を炭素数のレンジごとに把握する基準である。鉱油類の汚染状況を全体的に把握する指標として有用であると考えられるが、TPH 濃度は複数の炭素数を持つ化合物の総量が単位土壌中にどのくらい含まれているのかを表す指標であるので、個々の汚染物質を定量することや毒性を総合的に把握することは困難であると考えられる。

TPH の定量手法には、GC-FID (水素炎イオン化検出器付きガスクロマトグラフ) 法、IR (赤外分光分析) 法、ノルマルヘキサン抽出法などがある。ノルマルヘキサン抽出物質法では、ノルマルヘキサンを 80 前後で揮発させ、残留した不揮発性油分を定量するため、80 で揮発する低沸点の物質は定量されにくく、特に軽質油については不向きである。

ノルマルヘキサンとはヘキサンの別称であるが、極性が低く、鉱油類中の多様な物質の抽出に利用される。ノルマルヘキサン抽出物質も TPH と同様複数の鉱油類成分を把握する指標である。単位は土壌中 mg/kg などと表される。

クリセン、フルオレンなど多環芳香族化合物(PAHs)を GC-MS や HPLC により定量し、評価の基準とすることもできる。

鉱油の一成分に着目し、該当物質の濃度を低下させることで鉱油類全体の濃度を低下させる手法もある。土壌汚染対策法施行規則において規制されているベンゼンの土壌溶出基準は 0.015mg/L であり、これを対策目標とする考え方もある。トルエンやキシレン、エチルベンゼンについて、独自に基準を設けることもある。

RBCA (Risk-Based Corrective Action) は米国において導入されている鉱油類由来の土壌汚染評価の手法であるが、汚染用地の汚染状況、汚染物質の移動、受容者への暴露の可能性の3つの要素を調査し、3要素がすべて存在している場合にのみ、その用地にリスクがあると判断する。

BTEX(Butane, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)や PAH などの個々の化合物は、それぞれの物理的性質、化学的性質、および人体への毒性などが研究されているため、RBCA 手

法を定めている ASTM に示されている計算手法に従って、個々の化合物についてリスクに基づいた浄化目標値を計算することができる。TPH の場合は、様々な炭素数の構造を持つ化合物の混合物であるため、特定の物質に対して定量することができず、そのまま RBCA に基づいた毒性評価につなげることは困難であるとされていた。しかし、1994 年にマサチューセッツ州環境部 (MADEP) では、炭化水素の分子量に基づいた分析手法を提案した。この手法は TPH フラクション法と呼ばれるが、石油汚染物質を飽和炭化水素と芳香族炭化水素に分類し、さらにある範囲の炭素数毎に分類して、それぞれのフラクションの毒性に基づいて、汚染物質全体の毒性を評価する手法である。

その手法においては、TPH 中の代表的な化合物を分画し、シリカゲルあるいはアルミナゲルにより各フラクションに分画する。その後、GC-FID による分析で脂肪族、芳香族の識別をし、各フラクションの定量分析をする。

油臭については、捉え方は人によって異なるため数値で表わされればよいが、臭気濃度は、油臭を無臭空気中で段階的に希釈し、無臭になるまで希釈したときの希釈倍率のことを表わし、悪臭防止法においては、特定悪臭物質 (22 種類) の規制に用いられる指標となっている。臭気指数は、臭気濃度を下の式で換算して数値の大きさの差異が感覚的強度の差異に近づけるようにした変数である。

$$(\text{臭気指数}) = 10 \times \log_{10}(\text{臭気濃度}) \quad (2-2)$$

臭気強度は、嗅覚を用いて臭いの強さを実測して - 4 ~ 4 の 9 段階で判定する方法である。

油膜については、視覚的な人の不快感が生活環境リスクであるため、油膜が発生した地点で生活環境リスクがあると考えるのが適当である。油膜の判定手法としては、油汚染対策ガイドラインの中では、ビーカーあるいはシャーレの中に蒸留水を入れ、汚染土壌を投入し、攪拌をした後に観察する手法 (ビーカー法、シャーレ法) が紹介されている。

平成 18 年に社団法人全国石油協会は、油漏洩土壌などにおける油臭の捉え方について、臭気指数と TPH 濃度 (油分に相当) の相関関係などに着目し、適切な油臭判別法について検討した。調査の結果、臭気指数と TPH 値の相関は、炭素数 6 ~ 12 と 6 ~ 16 の混合物では  $R^2=0.9$  程度と大きいという結果が得られた。炭素数 6 ~ 28 や 6 ~ 44 の混合物では  $R^2$  値が 0.48 ~ 0.64 と低いことが確認された。TPH 値は成分の炭素数に関係なくほぼ正確に定量できるとすると、臭気は炭素数が大きい成分を含むと正確に測定できないと考えられる。

また、土壌に含まれる油分量 (TPH) が同じでも、漏洩した油種により以下のように油臭の強さが異なることが確認された。

$$\text{ガソリン} \quad \text{灯油} > \text{軽油} > \text{エンジンオイル} \quad (2-3)$$

## 2.4.5 油汚染に関する技術について

鉛油類由来の土壌汚染についても第1章で述べてきたような対策技術が適用可能であるが、鉛油類の特性を踏まえた技術の選択が必要である。鉛油類は粘性が高く、土壌に吸着しやすい性質を持つため、土壌の表層付近に滞留する傾向がある。また鉛油類の構成成分はすべて他の物質に溶けにくく、水より軽いものが多いという性質を持つが、一方で鉛油類は種類によって様々な粘性係数や揮発性を持っているため、浄化技術として適用できる技術は鉛油類の種類によって異なる。技術の適用性を鉛油類の種類ごとに費用対効果の視点から相対的に評価したのが以下の表である。

表 2-5 主な油汚染に対する技術の適用性

製品名		主な油の種類				
		ガソリン	灯油	軽油	重油	原油
揮発性		大	>	>	小	-
適用性	土壌洗浄	B	B	A	A	A
	熱処理	A	A	A~B	C	C
	微生物処理	A	A	B	C	B
	土壌ガス吸引	B	C	C	C	C

出典：「地下水・土壌汚染の基礎から応用」(2006)

注) 表中の凡例の説明。

A：適用性が高い。

B：適用性が中程度である。

C：適用性が低い。

鉛油類の構成成分には VOC が多いため、原位置で土壌浄化をおこなう技術の対応が十分可能である。バイオレメディエーションは、安価であることや対応する微生物が豊富に存在することなどから魅力的な工法である。特に低分子であるほど、また極性が高い(親水性である)ほど分解されやすいのでより有効である。ガソリンや灯油、ある種の潤滑油は脂肪族炭化水素の含量の多い石油製品であり、微生物分解を受けやすい。また土壌洗浄では炭素数が多く揮発性の小さい鉛油類に対して浄化効率が高いが水処理にコストがかかるという課題がある。鉛油類は土壌の地表付近に滞留する傾向があるので、掘削除去についても魅力的な技術であると考えられる。

## 第3章 油土壌汚染等調査対策に関するアンケート調査

### 3.1 本アンケート調査の概要

生活環境に影響を与える鉱油類に由来する汚染については、平成15年2月に施行された土壌汚染対策法の対象とはなっておらず、法律の附帯決議の中では、「実態把握などについて早急に科学的知見の集積に努めるとともに、土壌汚染の未然防止措置について早急に検討を進める」とされている。ベンゼンについては土壌汚染対策法の対象物質であるため、一部の工場・事業場では土壌汚染対策法を契機に鉱油類由来汚染対策を行っているケースもあると推測される。環境省では平成18年3月に「油汚染対策ガイドライン」を策定し、鉱油類による汚染対策の推進の契機としている。以上のような背景のもと、産業界での鉱油類由来の土壌汚染対策の実態を把握することは重要であると考えられる。

一方、土壌汚染対策法の対象物質を含めた土壌汚染全般については、現行の土壌汚染対策技術のうち、最も多く使用されているのは掘削除去であるが、汚染を完全に除去できる、対策期間が短期であるというメリットがある一方で、掘削除去関連技術の土壌浄化にかかるコストが膨大であるなどのデメリットがある。土壌汚染対策にかかるコストは、土地取引を円滑に進めていくために大きな障壁となるため、掘削除去に代わる技術の積極的な開発が求められている。土壌汚染対策技術の改良は、コストの他、対策期間、浄化効率など非常に多くの観点からおこなわれる。そのため、産業界における個別の土壌汚染対策技術に関する具体的なニーズについては把握する必要がある。

そこで本調査では、鉱油類由来の土壌汚染調査対策についての実態把握（前半）および土壌汚染全般の対策技術に関する産業界の意見・ニーズの収集（後半）という2つの観点からアンケート調査をおこなった。前半部では、産業界における油汚染対策ガイドラインの普及状況および活用状況を把握した。さらに各企業でこれまでに取り組まれた鉱油類由来の汚染対策などをもとに、油汚染対策ガイドラインについての意見を収集した。後半部では、代表的な土壌汚染対策技術について5つの技術工法と4つの観点をもとにニーズを把握した。さらに土壌汚染全般の対策技術に関する具体的なニーズを把握した。これらの調査の結果より、鉱油類由来の土壌汚染対策については、今後の更なる対策の推進のための課題を抽出することができると考えられる。また土壌汚染全般の対策については、技術の向上と土壌汚染対策の推進に寄与することができると考えられる。

## 3.2 本アンケート調査の調査状況

### 3.2.1 実施期間および調査方法

平成 19 年 12 月～平成 20 年 1 月

E メールあるいは郵送により発送し、E メール、FAX、郵送により回収した。

### 3.2.2 調査対象

産業界の上場企業 336 社。鉱業、建設業、紙・パルプ製造業、石油・石炭製品製造業、化学工業、鉄鋼業、非鉄金属・金属製品製造業、機械製造業、電気・ガス業、食料品製造業、医薬品製造業、ガラス・土石製品製造業、出版・印刷業、繊維製品製造業、ゴム製品製造業のうち、業務上、鉱油類と関連のあると考えられる企業に対し、調査をおこなった。

### 3.2.3 回収数

回収率は、32.4 % (109 社/336 社) であった。

### 3.2.4 アンケート調査結果の集計概要

産業界 336 社を対象にアンケート調査をおこなった結果、回答が得られたのは 109 社であり、質問ごとの集計概要を表 3-1 に示す。

表 3-1 アンケート調査集計概要

設問番号	設問内容	集計概要
設問 1	業種	全 109 社が対象。
設問 2	産業界における鉱油類由来の土壤汚染	(1)、(2)は 109 社、(1)措置方法は防止を「おこなっている」99 社が対象。 (3)は土壤汚染対策法施行以後に鉱油類由来の調査を「おこなった」41 社が対象(無記入を除く)。
設問 3	油汚染対策ガイドラインの普及状況	(1)、(2)はこれまでに鉱油類由来の調査対策をおこなった 48 社が対象。 (3)、(4)は油汚染対策ガイドライン策定前に鉱油類由来の調査対策をおこなった 38 社が対象。(3)では 33 社(無回答が 5 社)。
設問 4	油汚染調査対策について	全 109 社が対象。
設問 5	土壤汚染対策技術について	全 109 社が対象。

### 3.3 本アンケート調査の集計結果

アンケート調査回答票は参考資料5に示す。

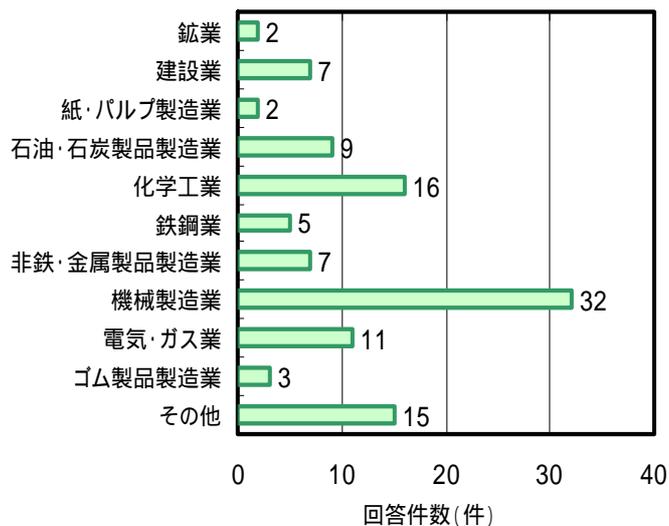
調査結果を公表するに当たり、以下の点に配慮した。

- (1) 回答については回答企業の記載をもとに類似する回答をまとめるなどの作業をおこなった。ただし、当会による評価や判断を回答内容に加えていない。
- (2) 企業名は公表しない。

#### 設問1 はじめに

貴社の業種を1つ選んで記号でお答え下さい(複数該当する場合は、主となる業種)。

機械製造業、化学工業、電気・ガス業、石油・石炭製品製造業の順に回収数が多かった。業務に鉱油類と深い関わりのある業種からアンケート中の意見を把握するのに十分な回収数が得られたと考えられる。



(n=109, うち無回答0・全回答企業数)

図 3-1 アンケート調査の業種別回収数

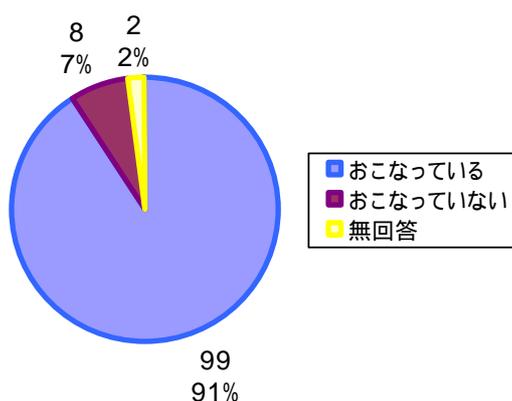
注 1) 機械製造業には、一般機械製造業、輸送用機械製造業、電気機械器具製造業、精密機械器具製造業を含む。

注 2) その他には、石油製品販売業、電子部品製造業、プラスチック製品製造業、半導体製造業があった。

## 設問 2 産業界における鉱油類由来の土壤汚染

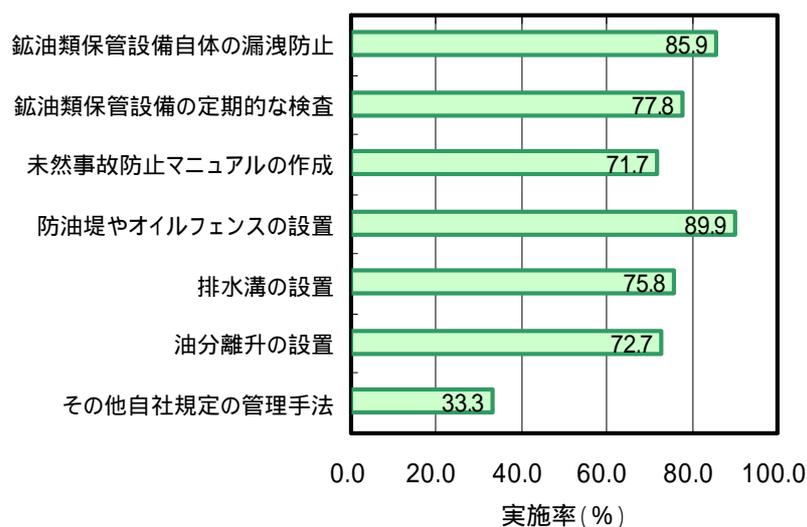
(1) 貴社の敷地内におきまして、土壤汚染対策法で対象とされる有害物質に限らず、鉱油類由来の土壤汚染に関する**防止措置**を何らかの形でおこなっていますか。**おこなっている**と答えた方は、具体的な措置の方法を選択肢よりお選び下さい(複数回答可)。

企業の鉱油類由来の土壤汚染防止の取り組み状況は図 3-2 および図 3-3 のようになった。



(n=109, 全回答企業数)

図 3-2 鉱油類由来の土壤汚染に関する防止措置実施状況



(n=99・設問 2(1)「防止対策をおこなっている」回答数, 意見総数 502)

図 3-3 鉱油類由来の土壤汚染に関する防止対策

鉱油類由来の土壤汚染防止対策は回収数のうち 99 社（91%）でおこなっていると回答した。鉱油類汚染の恐れがある企業においては漏洩防止対策をおこなうのは通常であると考えられる。

鉱油類由来の土壤汚染防止対策の手法では、選択肢の全てをおこなっている企業が 44 件（43.8%、97 社中）あった。対策別に見てみると、「防油堤やオイルフェンスの設置」（89 社、89.9%）、「鉱油類保管設備自体の漏洩防止」（85 社、85.9%）についてはほぼ全ての企業がおこなっていた。「未然防止対策マニュアルの作成」の実施率は 71.7% で、選択肢中では最も低い実施率となった。

その他の鉱油類由来の汚染防止措置には次のような回答があった。

### **1. 点検・管理**

- ・ 運転員、保全員による日常的な巡回点検による漏洩その他の不具合の早期発見と対策措置の実施。
- ・ 設備本体(タンク底板他)、配管などについて、定期的及び必要の都度腐食関連検査(非破壊検査、肉厚測定など)を行い、設備の健全性を把握するとともに保全計画などに反映させている。

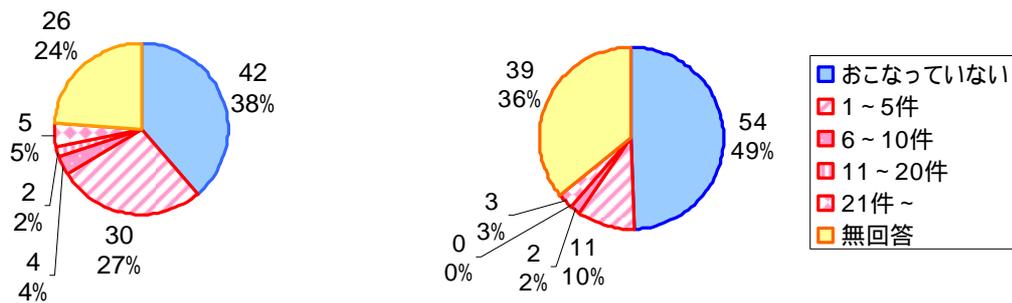
### **2. 訓練**

- ・ 漏洩時の対応手順を定め、定期的に訓練を実施。

### **3. 設備など**

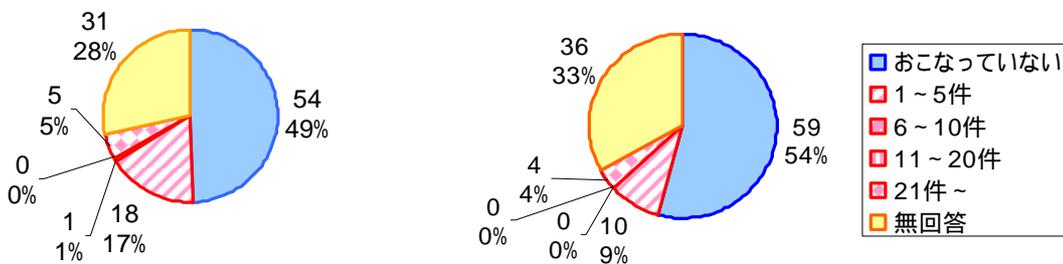
- ・ 設置後 20 年以上の地下タンクの地上化、二重殻化。
- ・ 緊急対応用油マット。
- ・ 漏洩センサーの設置・ローリーヤードへのピット設置・緊急備品庫設置（吸着マット乾燥砂・スコップ・保護具）。
- ・ 防油堤内に油膜検知器を設置し、集中管理を実施。
- ・ 重油タンクなどの保管設備及び鉱物油使用設備の位置を明示したハザードマップを作成。
- ・ 貯油施設における漏洩防止構造指針を制定。

(2) 土壤汚染対策法施行以後（平成 15 年 2 月以降）に貴社の敷地内におきまして、**鉱油類由来の土壤汚染に関する調査対策（他の物質に対する汚染調査対策と並行しておこなった場合を含めます）**をおこないましたか。調査と対策のそれぞれ件数をお答え下さい。そのうち**鉱油類由来のみの土壤汚染調査対策をおこなった場合はその件数を（ ）内にお答え下さい。**



(n=109・全回答企業数、左：鉱油類を含む場合の集計結果 右：鉱油類のみの場合の集計結果)

図 3-4-1 鉱油類由来の土壤汚染調査実施状況（土壤汚染対策法施行以後）



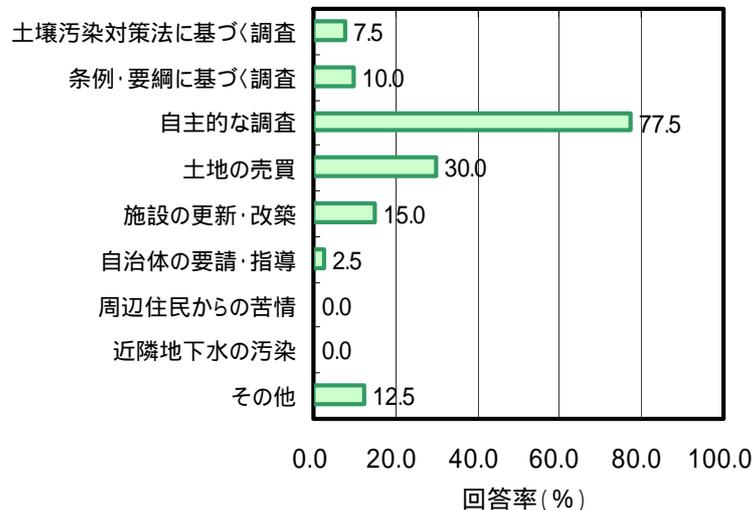
(n=109・全回答企業数、左：鉱油類を含む場合の集計結果 右：鉱油類のみの場合の集計結果)

図 3-4-2 鉱油類由来の土壤汚染対策実施状況（土壤汚染対策法施行以後）

図 3-4-1 および図 3-4-2 によると、土壤汚染対策法施行後に鉱油類由来の汚染の調査をおこなった回答は 41 社（51.3%，無回答票を除く 80 社中）であり、対策をおこなった回答は 24 社（33.3%，無回答票を除く 72 社中）であった。

鉱油類由来の土壤汚染調査対策の件数を集計してみると、全調査件数は 6,446 件で鉱油類由来のみの件数が 3,546 件（55.0%）であり、全対策件数は 1,049 件でそのうち鉱油類由来のみの件数が 705 件（67.2%）であった。過半数の調査対策は鉱油類由来のみの場合であることがわかった。

(3) 鉱油類由来の土壤汚染調査をおこなった契機は何ですか（複数回答可）



(n=40・鉱油類由来の調査をおこなった回答数 41 のうち無回答票 1 を除く、意見総数 62)

図 3-5 鉱油類由来の土壤汚染調査をおこなった契機

鉱油類由来の土壤汚染調査をおこなった契機は、「自主的な調査」が、31社(77.5%)で最多であった。「土地の売買」12社(30.0%)、「施設の更新・改築」6社(15.0%)がそれに続いた。これらはすべて法律や条例に基づかない調査であり、このいずれかを回答した企業は34社(85%)にのぼった。

「土壌汚染対策法に基づく調査」は3社(7.5%)にとどまった。「条例・要綱に基づく調査」は4社(10.0%)であった。「周辺住民からの苦情」、「近隣地下水の汚染」は本アンケート回答企業では見受けられなかった。

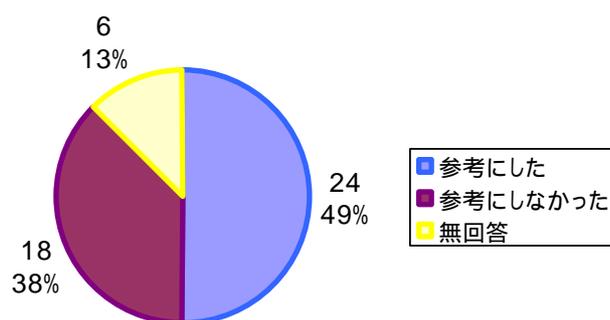
その他の回答としては、次のものがあつた。

- ・油槽所用地として賃借していた土地の返却のため。
- ・条例に基づき、鉱物油以外の物質を調査した際に、鉱物油由来の汚染が有ることが判明した。
- ・施設の撤去。
- ・グループ本社組織からの指示に従い実施。鉱油由来調査のみで水・土質調査は未実施。

### 設問 3 油汚染対策ガイドラインの普及状況

設問 3 は鉛油類由来の汚染調査対策をおこなった企業を対象とした。設問 2(2)で無回答であった企業が本設問で回答している場合もある。

(1) 平成 18 年 3 月に環境省において油汚染対策ガイドラインが策定されましたが、これまでに油汚染調査・対策をおこなう際に油汚染対策ガイドラインを参考にしましたか。

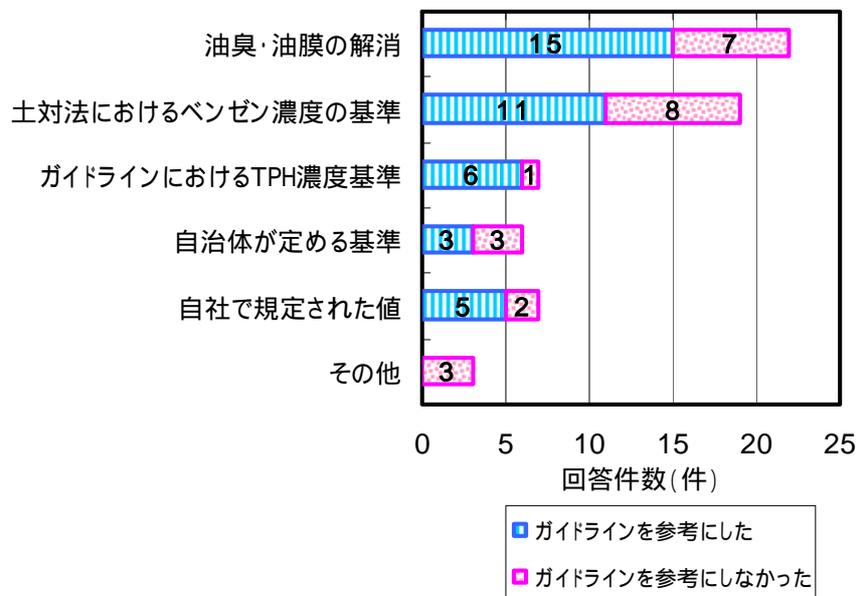


(n=48・ガイドライン策定以降に鉛油類由来汚染調査対策をおこなった企業数)

図 3-6 油汚染対策ガイドラインの参考状況

油汚染対策ガイドラインを「参考にした」という回答は 24 社(49%、有効回答票 48 社中)であった。「参考にしなかった」という回答は 18 社(38%)であり、この中には、ガイドラインを知らなかったというところもある。

(2) 貴社の敷地内においておこなわれた鉱油類由来の土壤汚染対策の達成に関わる基準をお答え下さい(複数回答可)。Eを選んだ方は、**基準となる指標と基準値**をお答え下さい。



(n=42, 無回答6・ガイドライン策定以降に鉱油類由来汚染調査対策をおこなった企業数)

図 3-7 鉱油類由来の土壤汚染対策についての基準となる指標

鉱油類由来の土壤汚染調査対策にあたって使用した基準となる指標は、「油臭・油膜の解消」が22社(52.3%)で最多であった。本指標は油汚染対策ガイドラインの主な鉱油類由来の汚染解消の目安ともされているが、油汚染対策ガイドラインを参考にしない企業の回答も多く、判断の基本として多く用いられている指標であることが確認できる。

「土壤汚染対策法におけるベンゼン濃度の基準」をもとに鉱油類由来の土壤汚染の解消を基準としている企業は19社(45.2%)であった。本指標は油汚染対策ガイドラインには触れられていないが油汚染対策ガイドラインを参考にする企業の回答が多く見られた。

「ガイドラインにおけるTPH濃度基準」(ガイドライン中の基礎編調査-8に記述されている「**土壌TPH濃度対策検討範囲設定濃度**」)は7社(16.7%)であったが、その内訳は前問3(1)で油汚染対策ガイドラインを参考にすると回答した企業が大半を占めた。

その他の回答には、次のように具体的な鉱油類由来物質の濃度数値を指定している企業も見られた。

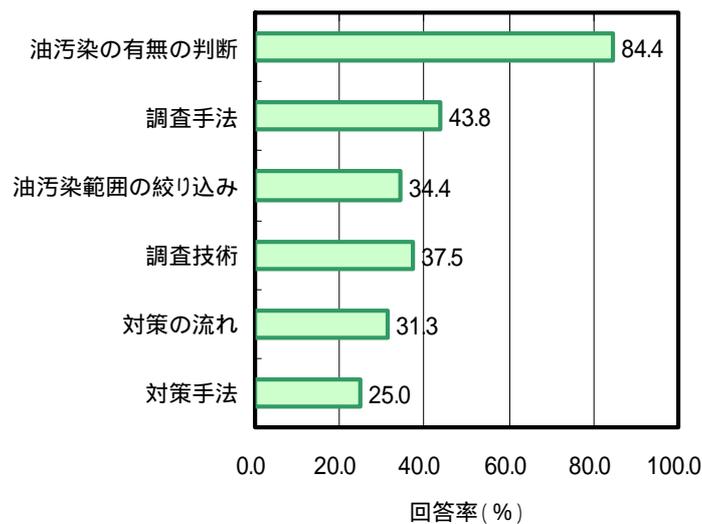
- ・ TPH 濃度 ( 1,000 mg/kg 以下 )
- ・ ノルマルヘキサン抽出物質濃度 ( 1,000 mg/kg、 5,000 mg/kg ・ 各 1 社 )
- ・ グループ土壌・地下水環境調査手順書、それぞれの含有量・溶出量。
- ・ RBCA 評価、RBCA 評価によるサイトスペシフィックアクションレベル。

注) RBCA 評価について。

RBCA 評価とは、米国におけるリスクベース評価手法であり、日本においても導入されているところがある。評価の手法は、汚染用地における汚染状況 ( 汚染源、化学物質の種類、濃度など )、汚染物質の移動 ( 地下水、土壌、大気、雨水などによる移動など )、人間・環境への曝露の可能性の 3 つの要素を全て満たしている場合にのみ、その用地にリスクがあると判断し、そのリスクを基にした適切な浄化基準を算出するということである。油土壌汚染の場合は、BTEX(ベンゼン・トルエン・エチルベンゼン・キシレン)や PAH など個々の化合物について、RBCA 手法に定められている ASTM(米国材料試験協会)に示されている計算手法に従って、リスクに基づいた浄化目標値を計算することができる。

(3) 油汚染対策ガイドライン策定以前に、鉱油類由来の土壤汚染調査・対策をおこなったことがある方にお尋ねします。

策定以前に貴社でおこなわれた鉱油類由来の土壤汚染調査・対策につきまして、油汚染対策ガイドラインと類似していた項目はありましたか。次からお選び下さい(複数回答可)。



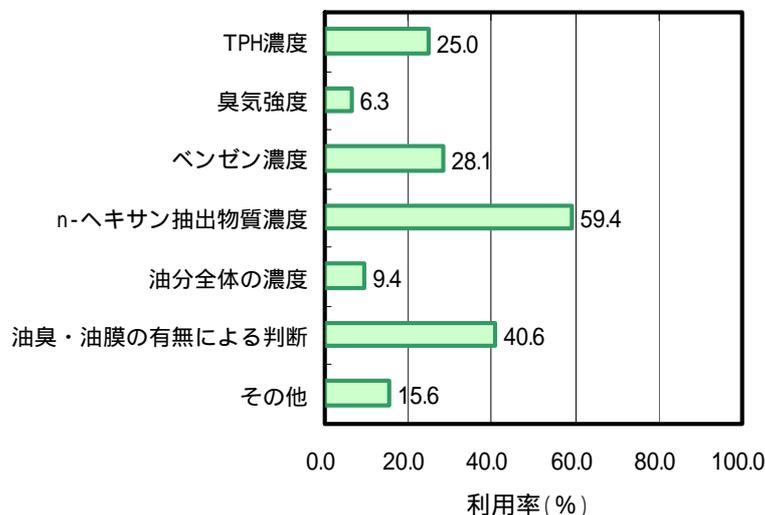
(n=32, 無回答 6・本問回答企業数, 意見総数 82)

図 3-8 油汚染対策ガイドライン策定前の鉱油類由来汚染調査対策とガイドラインの類似

油汚染対策ガイドライン策定以前に鉱油類由来の汚染調査対策をおこなった場合、油汚染対策ガイドラインとの類似点があったかという設問では、「油汚染の有無の判断」については 27 社 (84.4%) が類似していると回答した。

「調査手法」や「油汚染範囲の絞り込み」、「対策の流れ」といったガイドラインの詳細の部分と類似していたと回答した企業は 3~4 割という水準であった。6~7 割の企業がこれらの項目で油汚染対策ガイドラインに類似していなかったということであるが、この部分を今後どのように捉えていくかについても議論の余地がある。

油汚染の度合いを定量するのに次のうちのどの指標を用いましたか。その指標を選択した理由を下の記述欄にご記入下さい（複数回答可）。



(n=32, 無回答 6・本問回答企業数, 意見総数 59)

図 3-9 油汚染対策ガイドライン策定前の鉱油類由来汚染の際に用いた指標

油汚染対策ガイドライン策定前は、半数以上の企業(19社、59.4%)で「n-ヘキサン抽出物質濃度」が汚染の指標として用いられていたことがわかった。「ベンゼン濃度」は9社(28.1%)であった。これら2つの指標については、鉱油類由来の汚染対策の基準としても用いられた企業が多く、油汚染対策ガイドラインにおいても今後測定手法などの記載を取り入れていくなどの対応が考えられる。

ガイドラインに記載されている油臭・油膜による判断は13社(40.6%)、TPH濃度は8社(25.0%)であった。

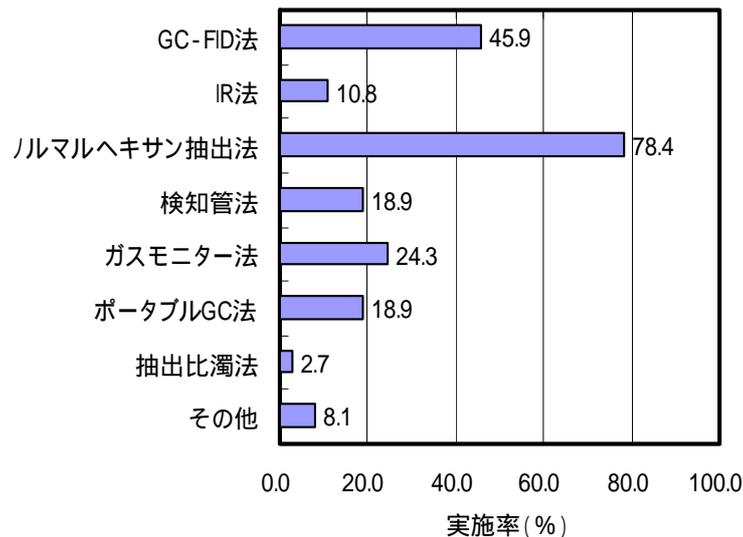
その他の基準についての回答は以下のものがあつた。

- ・水質基準値以下確認のみ。
- ・PAHs濃度。
- ・過去の使用状況等を調査し、地下への汚染有無を確認した結果、汚染はないと判断し定量調査は実施していない。
- ・油汚染の確認及び汚染の原因となる油種の判別のため。
- ・海面埋め立て時の「臭気と油膜」に関する受け入れ基準を参考とした。
- ・RBCAによるサイトスペシフィックアクションレベル。
- ・油汚染状況と対策地点特性等から最適な指標を選択した。

注1) PAHs : Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (多環芳香族炭化水素)

(4) 貴社でおこなわれた油汚染土壌調査・対策ではどの調査手法および対策技術を用いましたか。油汚染対策ガイドライン資料 6 および 7 に記載されている調査手法および対策技術を選択して下さい(複数回答可)。

産業界でおこなわれた鉱油類由来の土壌汚染調査技術についての集計結果を以下に示す。



(n=37, 無回答 1・本問回答企業数, 意見総数 77)

図 3-10 鉱油類由来の土壌汚染に対する調査技術

「ノルマルヘキサン抽出法」が 29 社(78.4%)で最多であった。本手法は簡便であるため、従来鉱油類由来の汚染対策に利用されていると推測できる。TPH 濃度の測定手法であり、油汚染対策ガイドラインでは手順などが詳細に示されている「GC-FID 法」は 17 社(45.9%)であった。

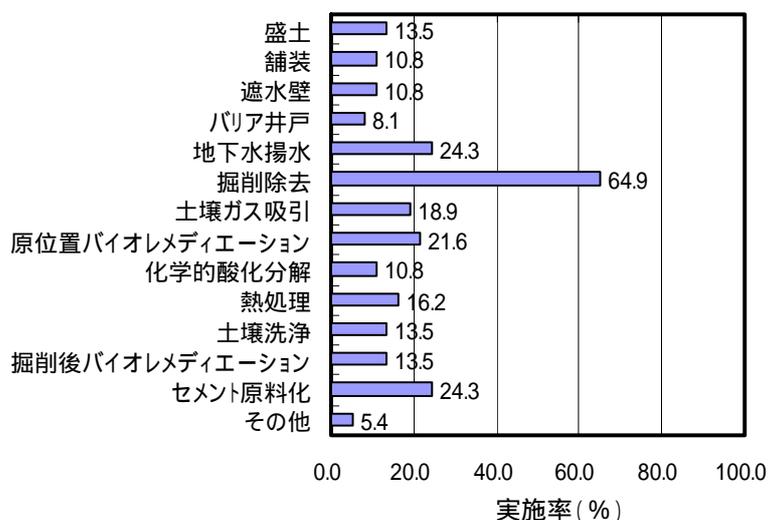
その他の回答には次のものがあつた。

- ・ PCR-DGGE
- ・ トリータビリティ試験
- ・ HS-GC/MS 法

注1) PCR-DGGE : Polymerase Chain Reaction-Denaturing Gradient Gel Electrophoresis : ポリメラーゼ連鎖反応 - 変性剤濃度勾配ゲル電気泳動) 法のことであり、変性剤として尿素とホルムアミドの混合物を用い、その濃度勾配を有するポリアクリルアミドゲル上、一定温度(例えば、60 )で電気泳動を行い、試料を分離する操作のことをいう。

注2) トリータビリティ試験 : 浄化技術適用試験。

次に鉱油類由来の汚染土壌対策技術についての集計結果を示す。



(n=37, 無回答1・本問回答企業数, 意見総数95)

図 3-11 鉱油類由来の土壌汚染に対する対策技術

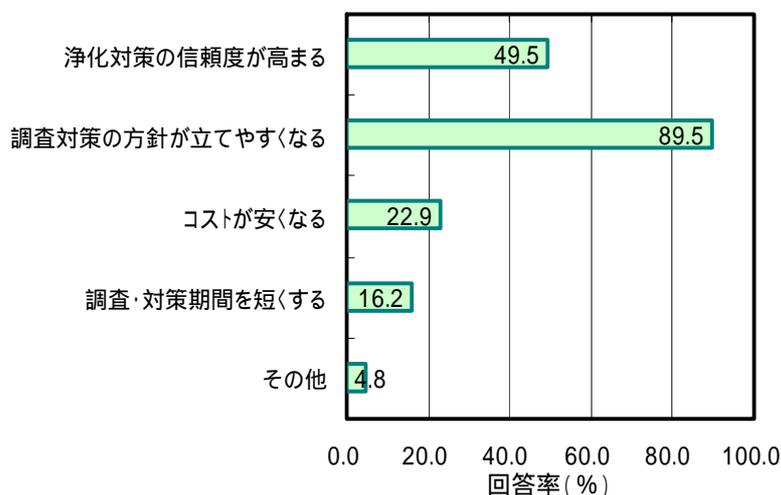
鉱油類由来の汚染土壌に対する対策技術は、「掘削除去」が24社(64.9%)で最多であった。鉱油類は一般に土壌に吸着されやすく、比重が小さい、気化しやすいなどのため、土壌層の浅い部分に滞留するか、大気中へ散逸することが多いと考えられる。そのため掘削除去を用いた場合でもVOC対策ほどコストはかからないと推測される。鉱油類はVOC(揮発性有機化合物)を成分として多く含むが、「地下水揚水」9社(24.3%)や「バイオレメディエーション」8社(21.6%)、「土壌ガス吸引」7社(18.9%)などVOC対策で頻繁に使用される技術も多く用いられていた。他には「セメント原料化」が9社(24.3%)と多かった。

その他の回答には次のものがあつた。

- ・掘削除去後焼却処理
- ・抽出処理

#### 設問 4 油汚染対策調査・対策に関するご意見

(1) 油汚染対策ガイドラインを参考にするとどのようなメリットがあると考えられますか（複数回答可）。



(n=105, 無回答 4, 意見総数 196)

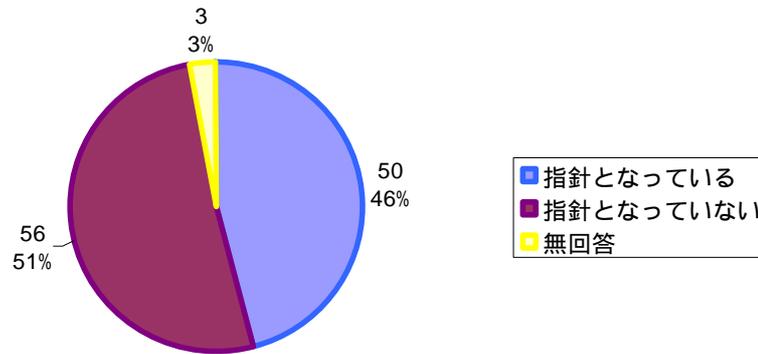
図 3-12 油汚染対策ガイドラインのメリット

油汚染対策ガイドラインを参考にすると、「調査対策の方針が立てやすくなる」という回答が 94 社（89.5%）で最多であった。「浄化対策の信頼度が高まる」は、52 社（49.5%）であった。油汚染対策ガイドラインを参考にするとリスクコミュニケーションをより円滑にすると推測できる。「対策範囲の絞り込みなどでコストが安くなる」という回答は 24 社（22.9%）、「調査・対策期間を短くする」は 17 社（16.2%）であった。油汚染対策ガイドラインを参考にすることで調査対策に対する信頼度が高まるといった評価がある一方で、コストや対策期間についてはあまりメリットとしては捉えられていなかった。

その他のメリットとしては次の意見があった。

- ・油汚染の定義が定められたこと。
- ・油汚染の問題が認知されたこと。
- ・ガイドラインでは、調査・分析手法が示されており、その部分を参考としている。
- ・客観的な評価法としての参考となり、情報公開時の拠り所となる。
- ・油汚染の有無の判断がつけやすくなった。

(2) 鉱油類由来の土壌汚染調査・対策をおこなう際に、油汚染対策ガイドラインが現在貴社の指針となっていますか。いずれかをお選び下さい。またその理由を選択肢よりお選び下さい。

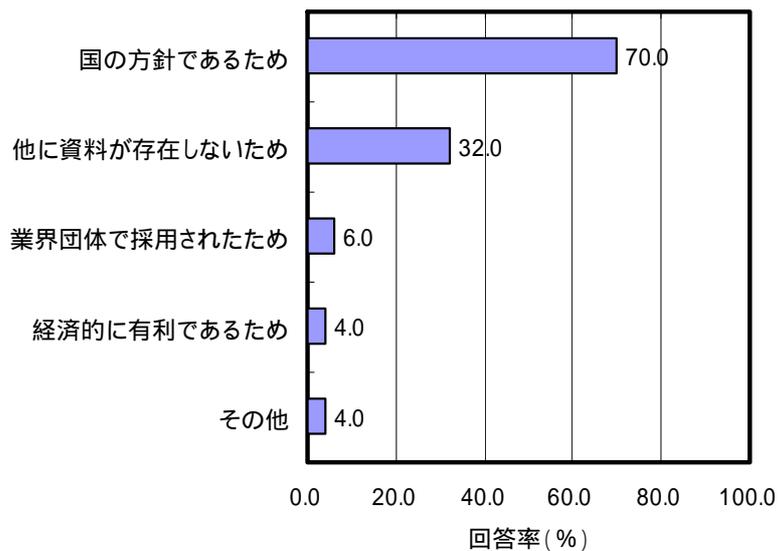


(n=109, 全回答企業数)

図 3-13 企業内における油汚染対策ガイドラインの指針状況

油汚染対策ガイドラインが「指針となっている」企業が 50 社(46%)であり、「指針となっていない」企業 56 社(51%)とほぼ同数であった。油汚染対策ガイドライン策定から約 2 年で対象企業の間ではかなり普及していることがわかった。

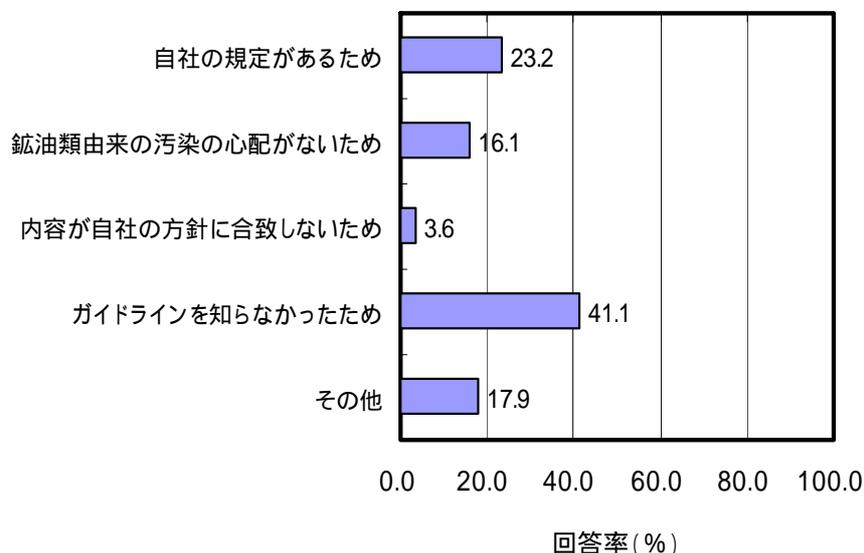
油汚染対策ガイドラインを指針としている理由としていない理由は以下ようになった。



(n=50・油汚染対策ガイドラインを指針としている企業数)

図 3-14-1 企業内における油汚染対策ガイドラインの指針状況 (指針としている理由)

油汚染対策ガイドラインを企業の指針と答えた企業では、「国の方針であるため」が 35 社（70.0％）で最も多かった。「他に資料が存在しないため」が 16 社（32.0％）で続いた。



（n=56・油汚染対策ガイドラインを指針としていない企業数）

図 3-14-2 企業内における油汚染対策ガイドラインの指針状況（指針としていない理由）

企業の指針としていないと回答した企業のうち、23 社（41.1％）が「ガイドラインを知らなかったため」が理由であった。このデータより推計される本アンケート調査回答企業におけるガイドラインの認知度は、75.5％（106 社中）であった。

「自社の規定があるため」を理由とした企業は、13 社（23.2％）であった。

「その他」を回答とした企業の意見は以下の通りであった。

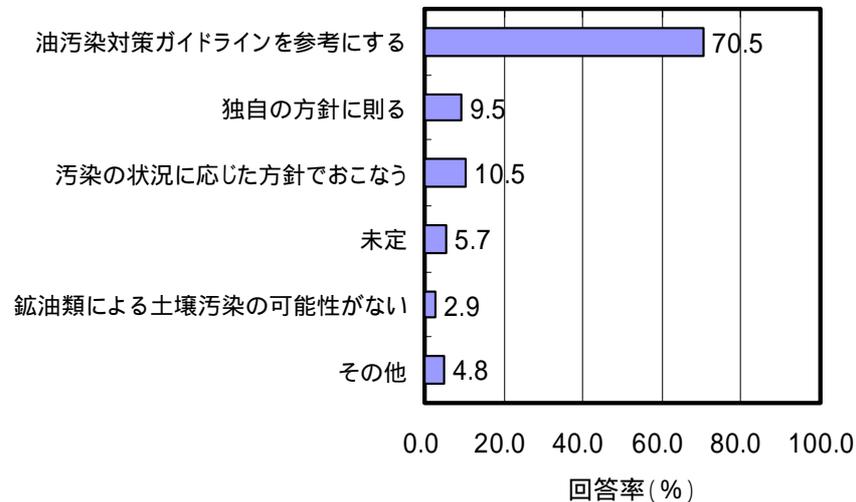
#### 指針となっている

- ・ 国のガイドラインであるから。

#### 指針となっていない

- ・ 自社の緊急対応手順を判定しているため。
- ・ 土対法に係る自主調査は完了しており、油調査の予定は当面計画していない。
- ・ これまで調査・対策をおこなう機会がなかったため。
- ・ 整備対策がなされているため。
- ・ 平成 18 年 3 月以前の調査のため。
- ・ 自社規定の参考になるため取り入れている。
- ・ 当業界のガイドラインが「汚染対策ガイドライン」のベースとなっているため。
- ・ 油汚染状況と対策地点特性等から最適な指標・方法を採用することとしている。

(3) 今後鉱油類由来の土壌汚染調査・対策をおこなう場合、貴社の方針は次のどれですか。  
1つを選び回答欄にご記入下さい。



(n=105, 無回答 4・全回答企業数, 意見総数 113)

図 3-15 企業の鉱油類由来の土壌汚染調査対策の方針

「油汚染対策ガイドラインを参考にする」と回答した企業が 74 社 (70.5%) と最も多かった。「独自の方針に則る」は 10 社 (9.5%) にとどまった。

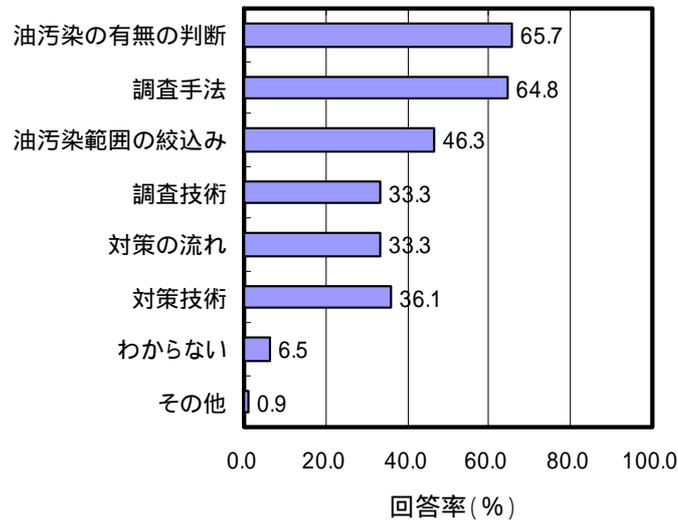
油汚染対策ガイドラインを指針と位置づけていない企業 (設問 4(2)) 56 社のうち 29 社 (51.8%) は「油汚染対策ガイドラインを参考にする」と回答し、油汚染対策ガイドラインを企業の指針とはしていなくとも参考にはする傾向が見られた。

その他の意見としては、以下のものがあった。

- ・ガイドラインは参考にするが汚染の状況に応じた方針でおこなう。
- ・案件ごとにガイドラインを参考にすることが妥当かどうかの検討を行った上で方針を決定している。
- ・ガイドラインは参考にする。
- ・自社基準、ガイドラインの両方を参考にする。
- ・グループ会社規程に準ずる。

「状況に応じてガイドラインを参考にする」という意見や「ガイドラインと独自の規定を併用する」というように鉱油類由来の土壌調査対策の中で油汚染対策ガイドラインを参考にするのが望ましい意見が多かったといえる。

(4) 今後鉱油類由来の土壌汚染調査・対策をおこなう場合、油汚染対策ガイドラインに記載されている次の事項のうち、どの項目が参考になると考えられますか（複数回答可）。



(n=108, 無回答1・全回答企業数, 意見総数 311)

図 3-16 油汚染対策ガイドラインの参考となる項目

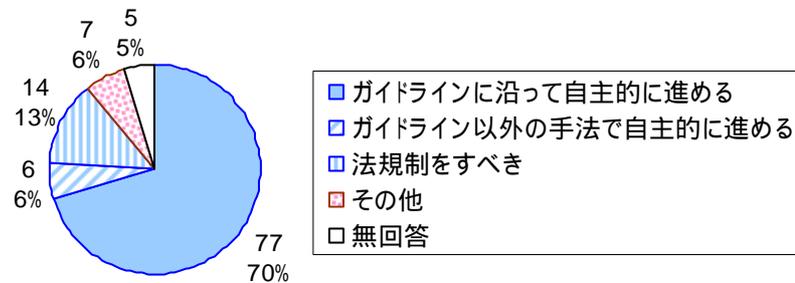
油汚染対策ガイドラインに記載されている事項は、すべての選択肢の項目に対して3割以上の企業が参考になると回答した。「油汚染の有無の判断」と「調査手法」については特に多く、それぞれ71社(65.7%)、70社(64.8%)であった。「油汚染範囲の絞り込み」はガイドライン特有の手法であり、参考になるとの回答は50社(46.3%)であった。

「調査技術」「対策の流れ」「対策技術」はそれぞれ36社(33.3%)、36社(33.3%)、39社(36.1%)であり、他の選択肢より少なかった。

その他の回答としては次の項目があった。

・第1章 本ガイドラインの基本的考え方。

(5) 鉱油類由来の土壌調査・対策全般の今後の方向性についてどのようにお考えですか。



(n=109・全回答企業数)

図 3-17 鉱油類由来の土壌汚染調査対策の方向性

「油汚染対策ガイドラインに沿って自主的に進める」という回答が 77 社 (70%) で最も多かった。「ガイドライン以外の手法で自主的に進める」、「法規制をすべき」という意見は、それぞれ 6 社 (6%)、14 社 (13%) であり少数派であった。

その他の回答は次の通りであった。土壌汚染調査対策は必要に応じておこない、油汚染対策ガイドラインを参考程度に活用するという意見が多くあった。

- ・ 有害性の評価について追記すべき。
- ・ わかりやすい数値目標等をはっきりさせた上で法規制すべきではないか。
- ・ 自社の基準に従いつつ、ガイドラインを参考にする。
- ・ 必要に応じて実施し、ガイドラインは参考とする。
- ・ 必要に応じて検討する。
- ・ 定期的な調査に基づき汚染の可能性が考えられない。
- ・ 油汚染対策ガイドラインを原則とし自社ガイドラインを用いる。
- ・ 油汚染対策ガイドライン等を参考に、汚染状況や汚染リスクに応じて、的確に進めて行くべきと考える。

(6) 油汚染対策ガイドラインについて何かご意見やお気づきの点がありましたら下の欄にご記入下さい。

### 1, ガイドラインの有用性

- ・ 今回あらためて内容を確認いたしました。わかりやすくまとめられているという印象です。このガイドラインの内容を広く周知する必要があると思います。
- ・ 現場の状況はそれぞれ異なり、画一的に規制するべきではないと思います。油汚染の有無の判断基準や対策フローについて指針を示すことには意味があると思います。

### 2, 鉱油類汚染の基準について

- ・ 油汚染対策ガイドラインでは、指定基準のようなものがないので、汚染の判断がつきにくい。
- ・ 油汚染による汚染判断基準（油臭、油膜、油分含有量：TPH 試験法で定量下限値以下が基準等）を具体的に定めてほしい。
- ・ 参考値でも良いので数値基準があればよい。
- ・ TPH 濃度を測定できる計量証明機関が少ないため、油汚染の度合いとして TPH 濃度を用いるのは難しいケースがある。
- ・ 地下水がない土地において、油臭や油膜のような現象が起きていない段階で油汚染を発見するのに有効な方法が示されるとよい。

### 3, ガイドラインの位置づけなどその他

- ・ 法の主旨から油が規制対象とならない以上、行政の助言（指導）等に積極的に採用していただき、そのオーソライズ性、信用性を高めていくことが望ましいと思われる。
- ・ 当社で油汚染が発生した場合には、全ての油汚染土壌を回収（掘削）し対応することとしている。回収が不可能な場合には、油汚染対策ガイドラインを参考に対応を行いたい。
- ・ 本ガイドラインでは扱っていない「健康リスク」と「土地取引」についての指針が欲しい。
- ・ 油臭、油膜、TPH だけの規制では不十分である。欧米並みの厳しい規制を求めます。
- ・ 法規制とするためには規制値他の定義が難しく、ガイドラインに留めるべきと考えるが、このままの内容では油汚染に対する自主取り組みの契機が特定できず、予防保全の観点での調査も意識づけすべき。

## 設問 5 土壌汚染全般の対策技術について

(1) 土壌汚染対策技術（鉛油類以外も含みます）を選択する貴社の方針において、改善を求める観点は何ですか。代表的な技術について該当する箇所にそれぞれの技術につき3つまで をつけて下さい（施工頻度が高い技術を念頭に置いてお答え下さい）。

表 3-2 土壌汚染対策技術に対する改善を求める観点

技術 \ 観点	コスト	施工期間	リスク低減	施工条件
掘削除去	81 (96.4)	20 (23.8)	13 (15.5)	20 (23.8)
バイオレメディエーション	22 (26.2)	42 (50.0)	28 (33.3)	28 (33.3)
化学的酸化分解	24 (28.6)	12 (14.3)	29 (34.5)	24 (28.6)
土壌ガス吸引	26 (31.0)	36 (42.9)	22 (26.2)	17 (20.2)
地下水揚水	34 (40.5)	44 (52.5)	23 (27.4)	16 (19.1)

（回答社数(回答率)[社(%)], n=84）

これらを要望している順番に並び替えると、上位 10 組は以下のようになる。

表 3-3 土壌汚染対策技術に対する改善を求める観点（上位 10 組）

順位	回答率	技術	観点
1	96.4 %	掘削除去	コスト
2	52.5 %	地下水揚水	施工期間
3	50.0 %	バイオレメディエーション	施工期間
4	42.9 %	土壌ガス吸引	施工期間
5	40.5 %	地下水揚水	コスト
6	34.5 %	化学的酸化分解	リスク低減
7	33.3 %	バイオレメディエーション	リスク低減
7	33.3 %	バイオレメディエーション	施工条件
9	31.0 %	土壌ガス吸引	コスト
10	28.9 %	化学的酸化分解	コスト
10	28.9 %	化学的酸化分解	施工条件

注) 表中の 50 %以上を示すライン、90 %以上を示すラインを太い線で明示した。

改善を求める対策技術と観点について「掘削除去 - コスト」という組み合わせが 81 社（96.4 %）で最も多かった。

次いで「地下水揚水 - 施工期間」「バイオレメディエーション - 施工期間」という土壌浄化技術の短期間化について 50 %以上の企業で求められていた。

コストの面では、地下水揚水が掘削除去に次いで改善を求められる技術であった。

(2) 土壌汚染対策技術のうち、買い主の要望などにより掘削処理技術が最も多く使用されていますが、高コストであることや汚染土壌の搬出が課題となっております。掘削除去の問題点を含め、土壌汚染対策技術に関する課題やニーズについてご意見をお答え下さい。

### 1, 土壌汚染対策技術全般に関する意見

- ・ シルト・粘土質汚染土壌の処理コストの低減

### 2, 掘削除去に関する意見

- ・ コストと汚染土壌の処理先が課題。
- ・ 低コスト化、汚染土壌の処理方法並びに処分先の拡大。
- ・ 対策費用が高いことがやはり問題である。油混じり土壌の適切で安価な処分場の開発が必要である。
- ・ 掘削除去した油汚染土壌の処理施設が不足している。
- ・ 土壌を掘削することにより、地下水への汚染拡大リスクなど、不安を感じる点はある。
- ・ 土地の売買においては、リスクの低減が将来的に担保される掘削除去対策でないと望まれない傾向にある。これは、わが国で、土壌汚染の健康リスクに対して、過度の反応があり、除去法以外をリスク低減策と考えられない傾向があるからである。採掘除去法は、物理的にリスクを排除する方法なので、健全土を証明する事ができるが、この方法が特定化学物質以外の鉱油にも適用される事が恒常化されると、高コストのため著しく土地の利用を妨げることになる。そこで土壌汚染対策は、人体の健康リスクを最小限に対応した対策が基準となるべきであり、広く安心感の啓蒙が必要である。また、掘削除去法は、汚染土壌の移動により環境負荷を高めている点にも着目しなければならない。
- ・ 対策の確実性という面で、後々に問題を引きずることのない掘削除去を選択するという傾向は今後も続くものと推察するところです。

### 3, 掘削除去以外の技術の改善

- ・ 原位置バイオレメディエーションの浄化の不均一性。不透水層を対象とした掘削除去以外の浄化技術の開発。
- ・ バイオレメディエーション、化学的酸化分解法の確実性の向上と社会一般における認知度の向上。
- ・ バイオレメディエーション技術の更なる進展に期待します。
- ・ 盛土、埋土由来と考えられる環境基準を若干越えるような低濃度、広範囲の重金属への対応。
- ・ 操業中の工場等での対策という面ではバイオ他の原位置浄化技術に魅力は感じますが、対策工期が長く、管理面等の負担が大きいの等の認識であり、適用の拡大にあたってはそ

これらの改善が必要と思います。

- ・ 汚染土壌の処理の問題は深刻です。VOC や重金属、油以外の汚染物質もあり、それぞれに浄化処理は異なるなど複雑です。コスト面を考慮して、バイオレメディエーションなど新技術の普及も重要かと思います。
- ・ 掘削除去以外の方法については、浄化効果の確実性とリスク回避の確実性を高レベルで満足する方法としては不十分である。更なる技術蓄積が必要。建屋内でも浄化可能な技術を望みます。
- ・ 微生物や化学処理での現位置浄化で完全に汚染が除去しきれぬのか、という不安もあり、汚染土壌除去の確実性から、掘削処理を選択することが考えられる。また、操業中の事業所内で浄化を実施する場合は、建物や舗装、被覆の状況から、大規模な掘削や処理プラントの設置ができないため、短工期もしくは省スペースで浄化を実施できる技術が望まれる。

#### 4, 施策面の改善

- ・ 社会が過度な対策を求めることがないよう、土壌汚染リスクについて社会が正しく認識できるような施策を検討してほしい。(土壌汚染リスクについて、社会の理解を得いくための普及・啓発の推進は、行政の然るべき機関が対応すべきと考えます。)
- ・ リスク評価結果に相応した対策をおこなうのが理想的なのだが、国民は安全よりも安心を望む。また、買主Aがその後用途目的の違う買主Bに転売したとき、当該用途のリスク評価結果に応じた対策を講じることとなり、結局安全・安心な掘削除去が全てに汎用性のある対策というジレンマが生じている。国は、土壌汚染に対する国民の心理的不安が起こる原因や解決策について検討すべき時期に来ている。
- ・ 調査・対策費用に関する税制優遇、融資・費用などの支援策を期待致します。
- ・ 調査・対策費用が増大傾向であるため、費用の優遇措置などが必要と考える。自然由来や、取得以前に汚染があった場合、汚染原因者ではない土地の所有者などが浄化、処理に対応している現状がある。このような、取得以前の汚染への対応も課題である。
- ・ 有害物質の濃度が基準を超えた土壌であっても、きちんと管理すれば問題の無いことを広く普及して欲しい。例えば、ガソリンには環境基準をはるかに上回る高濃度のベンゼンが含まれているが、適切に管理すれば問題なく使える・・・など。

#### 5, 基準の見直し・改善

- ・ 一律の基準ではなく対策後の用途に応じた基準を決めて欲しい。そうでないと、掘削除去を選択しなければならなくなるが多くなる。
- ・ 一律の基準(特に土壌含有量)の見直しをおこなうべきである。
- ・ 土壌汚染対策法指定地以外の汚染土壌の処理については規制がない為、不適切な処理が行われる可能性が否定できないこと。

- ・ 環境基準値 = 対策完了の絶対値ではなく、例えば土地の利用形態によって環境基準値の10～100倍の対策完了基準を設けることで、ブラウンフィールドの流動化も促進されると思います。また国・自治体など行政主導にて、より低コストでの汚染土壌引き受けが可能な処分場の設置を進める事も重要と思います。
- ・ 買い手の要望などにより掘削処理が多くなる要因に、自然的な要因による汚染がある。自然的要因の判断が難しいこと、また、仮に自然由来が要因と思われる物件も買い手から処理を要望され「汚染土」扱いで構外に搬出することが高コストにつながっている。土壌汚染対策の本来の目的である、人への健康影響がない程度はどのような対策か具体的な調査、対策事例等で示されると大変参考になると思う。

#### 6, 改善を求めるその他の視点

- ・ 汚染の発見と浄化も重要だが、未然防止の観点から対策を考えた方がより効果的。

## 第4章 土壤汚染対策の課題とニーズについて

### 4.1 土壤汚染対策技術について

#### 4.1.1 土壤汚染対策技術の動向

環境省の「土壤汚染対策法の施行状況および土壤汚染調査・対策事例等に関する調査結果」(2007)によると、現行の技術のうち「掘削除去」が最も多く利用されており、重金属類を対象とする対策で特に多いことがわかった。この背景には、掘削除去の対策期間の短さ、汚染を完全に除去できることという技術に関するメリットや、汚染への不安を持つ住民等に説明しやすいメリットがあることによるものと推測できる。土地取引の際には無条件で掘削除去を求められるケースが多いのも実状である。その一方で、搬出土壤の処理に大変コストがかかるといったデメリットがある。

最近開発されている土壤汚染対策技術の傾向として、複数の技術を併用できるようにしている点、もしくは一つの技術であってもいくつもの付加的な機能を兼ね備えている点がある。エアースパージングは土壤あるいは地下水に空気を注入して、微生物を活性化させたり、VOC や鉱油類などの揮発を促したりする。本技術は他のバイオレメディエーションや土壤ガス吸引、地下水揚水と併用させると効率が上がる。土壤ガス吸引と地下水揚水を並行して対策をおこない、効率よく土壤と地下水の汚染を除去する技術開発も見られる。土壤洗浄は薬剤を注入した後の処理が大変であるので、地下水揚水などと並行しておこなうことで、効率よく汚染を除去することが可能になると考えられる。

その他、画期的な対策技術には、それぞれの技術の抱える課題を改良した技術が多く見られた。バイオレメディエーションは施工期間が長いという課題があるが、「サイクリックバイオレメディエーション」は地下水を循環させることで土粒子に吸着している微生物が効率よく除去され、対策期間を6ヶ月～1年に短縮できる。「プロパゲーション工法」は地下で砂の層を作り、浄化促進剤などの薬剤を拡散させやすくする。固化では汚染の残留という課題があるが、「特殊注入材によるVOC浄化」や「VAMP-crete工法」を用いることでVOCの分解・除去も可能になる。今後も以上のような開発が続くと考えられるが、普及させていくための課題抽出も必要であると考えられる。

#### 4.1.2 土壌汚染対策技術の課題とニーズ

本調査のアンケート調査では、産業界における土壌汚染対策技術に関する課題・ニーズを収集した。調査結果によると、「掘削除去のコスト低下」については回答企業の96.4%(81件/全109件中)が求める大きなニーズであることがわかった。次いで、地下水揚水およびバイオレメディエーションの施工期間の短縮についてはそれぞれ52.5%(44件/全109件)、50.0%(42件/全109件)と回答企業の半数近くが要望していた。

掘削除去のコストを低下させるということは、今後の技術開発で求められる方向性の一つであると考えられるが、搬出土壤の増大は処理先において別の課題を引き起こす可能性がある。そのため、搬出土壤の処理場問題や搬出土壤の調査、浄化対策のコスト低下などを同時に考慮していく必要があると考えられる。

また、掘削除去関連技術以外の技術については汚染場所(オンサイト)での対策が多く、技術のコストや浄化効率、対策期間の改善を視野に入れた技術開発は環境面および社会面においてもメリットがあると考えられる。しかし、掘削除去よりも安価である原位置での浄化技術をさらに普及させていくためには、いくつかの課題に対応していく必要がある。

対策期間が長いことは大きな課題の一つである。掘削除去がすべての工程で2週間程度であるのに対し、浄化技術では数ヶ月～数年を要する。バイオレメディエーションは、微生物の働き次第で対策期間が変動する。微生物を活性化させる栄養剤の開発などが進められているが、微生物を活性化させるという視点で更なる付加価値を考慮した技術開発が望まれる。地下水揚水は、地下水中の汚染物質を効率的に除去することができる技術であり、対策期間の短縮化により一層の技術普及が進むと推測される。地下水揚水の揚水能力を向上させることや汚染源をより正確に推定するシミュレーションの開発、汚染物質と土壤の吸着を弱める第三物質の開発などが対策期間の短縮化のために考慮されうる課題となる。前述のように、複数の技術を効率よく組み合わせて利用することも対策期間を大幅に短縮できることができる手法の一つである。

その他の土壌汚染浄化技術についても、様々な観点からの開発が望まれる。「土壌ガス吸引の施工期間短縮」36件(42.9%, 全109件中)や「化学的酸化分解のリスク低減」29件(34.5%, 全109件中)という観点についても要望が多かった。

土壌ガス吸引は対策期間が5～10年と長く、土壤を効果的に熱するなど水分やVOCの気化を促進することは対策をおこないやすくすることは一つの手法であると考えられる。装置のVOC吸引能力の向上、井戸の本数や位置を最適にするなどの対処法も挙げられる。

化学的酸化分解は、薬剤を地表から注入するので二次的な汚染が懸念される。リスク低減の向上には、対策後に土壤洗浄をおこなうことや注入剤を無害のものにする、汚染の除去の確実性を認証する仕組みを整えるなどの措置が考えられる。

## 4.2 鉱油類由来の土壤汚染対策の動向

### 4.2.1 鉱油類由来の土壤汚染対策の動向

鉱油類は直接人体に影響を与えないが、油臭や油膜などにより生活環境上の感覚的リスクが生じることや地域住民からの苦情などがあることから、調査対策が求められるケースが多い。平成 15 年 2 月に施行された土壤汚染対策法においては、鉱油類中のベンゼンについては、必要な調査対策の具体的な取り組み方法が環境省令により提示された。また、土壤汚染対策法で鉱油類は対象物質とされていないが、法の附帯決議で、「科学的知見の集積に努めるとともに土壤汚染の未然防止について早急に検討を進める」とされている。

以上のような背景のもと、平成 18 年 3 月には環境省において油汚染対策ガイドラインが策定された。鉱油類を含有する土壤そのものや、油臭や油膜に起因する生活環境保全上の支障を除去するために、土地の所有者などが、その土地においてどのような調査や対策をおこなえばよいかなどについて、基本的な考え方と、取りうる方策の選択の際の考え方などに関する参考資料として活用できる内容になっている。

鉱油類由来の土壤汚染は、従来自主的な取り組みで調査対策を進められてきたが、土地売買の際や施設の更新・改築の際にも要求されるなどの理由により調査対策がおこなわれることも多いと考えられる。本調査のアンケート調査においても鉱油類由来の土壤汚染に自主的な調査を契機としている企業は、77.5 % (31 社/40 社) あり、「土地売買」は 30.0 % (12 社/40 社)、「施設の更新・改築」は 15.0 % (6 社/40 社) と、次いで多かった。

鉱油類由来の土壤汚染防止は、回答企業の 91 % (99 社/全 109 社) で実施されていた。また、油汚染対策ガイドラインの策定以降、鉱油類由来の汚染調査をおこなった企業は 51.3 % (41 社/有効回答票 80 社) であり、対策をおこなった企業は 33.3 % (24 社/有効回答票 72 社) であった。鉱油類由来の土壤汚染調査対策の件数で集計してみると、過半数の調査対策は鉱油類由来のみの場合であることがわかった。

産業界において、鉱油類由来の土壤汚染調査には「TPH 濃度」が一定程度普及していることが分かった。「ノルマルヘキサン抽出法」は、沸点が 80 以上である TPH 濃度を測定する簡便な手法であり、油汚染対策ガイドライン策定以降において、78.4 % (29 社/37 社) と最も多く調査に利用されていた。

またアンケート調査では、鉱油類由来の対策技術については「掘削除去」が 64.9 % (24 社/37 社) で最多であった。鉱油類は土壤に吸着しやすいため表層付近に滞留する傾向があり、掘削除去が利用しやすいためであると考えられる。鉱油類は VOC (揮発性有機化合物) を成分として多く含むが、「地下水揚水」24.3 % (9 社/37 社) や「バイオレメディエーション」21.6 % (8 社/37 社)、「土壤ガス吸引」18.9 % (7 社/37 社) など VOC 対策で頻繁に使用される技術も相当数利用されていることがわかった。

## 4.2.2 油汚染対策ガイドラインの運用状況と今後の方向性

本調査では、平成 18 年 3 月に策定された油汚染対策ガイドラインの活用状況および課題に関する意見をアンケート調査により収集した。

油汚染対策ガイドラインの普及状況については、鉱油類由来の油汚染をおこなう際、油汚染対策ガイドラインを「参考にした」と回答した企業は 49.0 % (24 社/有効回答票 48 社) であり「参考にしなかった」企業は 38.0 % (18 社/48 社) であった。ガイドラインを知らなかった企業は全回答企業中の 24.5 % (24 社/106 社) を占めた。油汚染対策ガイドラインは現時点で一定の普及がなされているが、今後の普及啓発の継続が必要であると考えられる。

鉱油類由来の土壌汚染調査対策をおこなう際に油汚染対策ガイドラインを企業の「指針としている」ところは 46.0 % (50 社/全 109 社) であり、今後調査対策をおこなう際に油汚染対策ガイドラインを「参考にする」と回答した企業は 70.5 % (74 社/105 社) と多数であった。回答企業の中では油汚染対策ガイドラインを肯定的に受け入れている企業が多く、内容について一定の評価がなされていることがわかった。

油汚染対策ガイドラインのメリットとして最も回答が多かったのは、「調査対策の方針が立てやすくなる」が 89.5 % (94 社/105 社) であった。「浄化対策の信頼度が高まる」は 49.5 % (52 社/105 社) であり、油汚染対策ガイドラインを参考にするリスクコミュニケーションを円滑化させることが確認された。

油汚染対策ガイドラインの内容では、「油汚染の有無の判断」、「調査方法」が参考になると回答した企業がそれぞれ 65.7 % (71 社/108 社)、64.8 % (70 社/108 社) で多かった。

油汚染対策に関する対策基準指標については、従来は「ノルマルヘキサン抽出物質濃度」が 59.4 % (19 社/有効回答票 32 社) と最も多く用いられていた。「油臭・油膜の解消」と「ベンゼン濃度」および油汚染対策ガイドラインに記載されている「TPH 濃度」については油汚染対策ガイドライン策定前後で普及状況に変化は見られない。「TPH 濃度」については、ガイドラインを参考にした企業での利用が多かったが、ガイドライン策定によって全体において普及しているとはいえない状況であった。

今後の油汚染対策ガイドラインの方向性としては、「ガイドラインに沿って自主的に進める」という回答が 70 % (77 件/全 109 社) と最も多い。一部の企業においては、鉱油類由来汚染についての「規制をするべき」13 % (14 社/全 109 社) と回答しており、数値基準を設けてはどうかという意見も見られた。今後数値基準などの必要性などについて様々な観点から吟味していく必要がある。現状においては今後もガイドラインベースの対策が望ましいといえる。

### 4.3 土壤汚染対策の今後の動向と提言

環境省では、平成 19 年 6 月から「土壤環境施策に関するあり方懇談会」を開催し、土壤汚染対策法施行後の課題について有識者による検討を行っている。平成 20 年 3 月には懇談会のとりまとめが出され、それをもとにして、平成 20 年度の中央環境審議会で土壤汚染対策法の改正に関する議論が行われるとみられる。

懇談会の議論の中で、土壤汚染対策については、掘削除去中心の傾向が続くことによって、搬出汚染土壌による汚染拡大などの深刻化が懸念されている。また、経済的合理性からも問題があるとされ、汚染の程度や土地利用状況に応じた合理的で適切な対策が実施されるように見直しが必要であるとの指摘があった。

土壤汚染対策技術については、すでに検討してきたとおり、それぞれの特長を生かした対策技術が近年多く開発される傾向にあるが、汚染の程度や局面に応じて、効果的な汚染対策をおこなうことができ、かつコストもリーズナブルであることが社会的には望ましい。しかし、実際の土壤汚染対策では、コストの高い掘削除去技術が多く実施されている。土壤汚染対策技術の動向を考える上では、技術開発動向だけではなく、土壤汚染対策の制度面に關わる社会的・経済的な要請についても考慮する必要がある。

そもそも土壤汚染対策法において、汚染土壌の掘削除去が求められるのは、一部の場(揮発性有機化合物の第二溶出量基準超過等)に限られており、ほとんどの土壤汚染対策が掘削除去である現状は法施行時からすれば想定外であったと言える。

また、現状では調査・対策の 8 割程度は事業者等が自主的におこなっている。自主的な調査・対策では、その実施内容や水準は、当事者自身が定めることになる。

この実態の背景には、特に土地取引(法の対象外)を契機とする土壤汚染対策においては求められる水準が、法のそれよりもはるかに厳しいというところにある。そして土地取引において土壤汚染が発覚した場合、土地資産価値が大幅に下落することから、短期的に汚染を除去することが可能な掘削除去技術が望まれることになる。さらに、土地取引以外の土壤汚染対策の場合であっても、土地資産価値の維持を目的として、土地取引の対策水準に準ずる対策が志向され、結果的に掘削除去が多くの局面で選択される結果となる。

また、汚染に対する過剰なスティグマ(心理的嫌悪感)に基づき、過剰な対策として掘削除去技術が選択されているという側面もある。掘削除去以外の安価な対策で充分である場合であっても、汚染土壌を確実に撤去する方が地域住民や土地購入者の意向に沿いやすい。汚染のリスク評価が適切になされていないために、汚染による不安感が漠然として取り除けないことが要因である。さらに、自主的な土壤汚染対策においては、指定基準が対策要否の判断基準として用いられていることも、過剰な対策を求める要因になっている。そもそも、土壤汚染の指定基準(溶出基準)は長期の地下水飲用を前提としたリスクを基に基準値が設定されているため、人の健康被害に関するリスク評価を実施し、過剰な浄化対策に陥っていない

いかを注意すべきである。

一方、鉍油類については、環境省の第6回懇談会（平成20年1月9日開催）で示された「土壤環境施策のあり方についての論点」において、施策対象とする項目について、「油（鉍油類）を含む土壤に起因する油臭・油膜問題については、平成18年3月にガイドラインを策定したところであるが、今後どう対応すべきか」と述べられ、ガイドラインに基づく対策以外に、法による対策の検討も示唆されている。また、「生活環境保全、生態系等の観点」についても、施策対象の論点として挙げられている。

今後、すぐれた土壤汚染対策技術が普及していくためには、技術開発だけではなく、技術を利用するための社会的な合意形成が重要な課題になると思われる。スティグマに基づく過剰な土壤汚染対策を実施するのではなく、科学的なリスク評価に基づく適切な対策を実施するための環境が強く求められるだろう。そのためには、土壤汚染サイトの周辺住民などの利害関係者に対しては、リスクコミュニケーションを適切に実施していく必要があるし、社会全体にはリスク評価の考え方をいっそう普及させていくための取り組みが必要だと考えられる。

## 参考文献

### 第1章

- 1) 『地下水汚染論 - その基礎と応用 - 』 地下水問題研究会編 共立出版株式会社 (1994)
- 2) 『土壌・地下水汚染の浄化(米国の経験)』 環境庁水質保全局海洋汚染・廃棄物対策室森下 哲著 (1996)
- 3) 『産業界における今後の土壌環境保全対策 - 土壌汚染対策法の施行に向けて - 』 社団法人産業と環境の会 (2002)
- 4) 『土壌・地下水汚染に係る調査・対策指針運用基準』 環境庁水質保全局編 (2002)
- 5) 『土壌汚染その総合的対策 - 調査技術、法律、鑑定、土地利用』 財団法人民間都市開発推進機構都市開発研究センター監修 (2003)
- 6) 『土壌汚染費用の算定と不動産の取引価格[不動産鑑定士]』 津村 孝著 清文社 (2003)
- 7) 『土壌汚染対策技術、地盤環境技術研究会編』 日科技連 (2003)
- 8) 『土壌汚染対策法に基づく調査および措置の技術的手法の解説』 社団法人土壌環境センター (2003)
- 9) 『土壌・地下水汚染の調査・予測・対策』 社団法人地盤工学会 (2003)
- 10) 『環境問題の多面化に対応した環境負荷低減(地下水汚染対策)』 社団法人産業と環境の会 (2004)
- 11) 『土壌汚染リスクと不動産評価の実務 - 土壌汚染の診断・浄化費用/スティグマ査定/環境保険』 川口 有一郎 和田 信彦 廣田 裕二 大岡 健三 本間 勝共著 株式会社プログレス (2004)
- 12) 『環境負荷物質対策調査報告書 - 土壌汚染対策調査研究事業 - 』 産業環境管理協会(2005)
- 13) 『土壌中の溶質移動の基礎』 筑紫 二郎著 財団法人九州大学出版会 (2005)
- 14) 『地下水・土壌汚染の基礎から応用 - 汚染物質の動態と調査・対策技術 - 』 理工図書 (2006)
- 15) 『土壌・地下水汚染 - 循環共生をめざした修復と再生 - 』 古市 徹監修 オーム社 (2006)
- 16) 『土壌物理学 - 土中の水・熱・ガス・化学物質移動の基礎と応用 - 』 ウィリアム・ジュリー + ロバート・ホートン共著 築地書館 (2006)
- 17) 『平成 17 年度土壌汚染対策法の施行状況および土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果』 環境省水・大気環境局 (2007)
- 18) 『土壌汚染を巡る企業の対策・対応のあり方報告書』 株式会社野村総合研究所 (2007)
- 19) 『土壌地下水汚染対策の最新の動向と調査・浄化法』 平田 健正著 和歌山大システム工学 産業と環境 (2007. 9)
- 20) 『地盤環境汚染の基礎と解析の考え方』 勝見 武著 Web Seminar

## 第 2 章

- 1) 『油汚染土壌調査・評価手法検討調査報告書』 社団法人土壌環境センター(2002)
- 2) 『平成 12 年度土壌汚染調査・対策事例および対応状況に関する調査結果の概要』 環境省環境管理水環境部 (2002)
- 3) 『土壌汚染対策技術』 地盤環境技術研究会編 日科技連 (2003)
- 4) 『石油汚染土壌の浄化に関する技術開発報告書』 財団法人石油産業活性化センター (2003)
- 5) 『土壌・地下水汚染の調査・予測・対策』 社団法人地盤工学会 (2003)
- 6) 『油汚染対策ガイドライン - 鉱油類を含む土壌に起因する油臭・油膜問題への土地所有者などによる対応の考え方 - 』 中央環境審議会土壌農薬部会・土壌汚染技術基準など専門委員会 (2006)
- 7) 『油漏洩土壌の評価方法に関する調査報告書 - 油臭測定と臭気強度評価に関する検討 - 』 社団法人全国石油協会 (2006)
- 8) 『地下水・土壌汚染の基礎から応用 - 汚染物質の動態と調査・対策技術 - 』 日本地下水学会編 (2006)
- 9) 『地下水・土壌汚染の基礎から応用 - 汚染物質の動態と調査・対策技術 - 』 理工図書(2006)
- 10) 『平成 18 年度事業 産業廃棄物排出・処理状況調査報告書 平成 16 年度実績』 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 (2007)
- 11) 『油汚染土バイオレメディエーションの新たな展開』 石川 洋二 資源環境対策 Vol.43(2) p. 67-72 (2007)
- 12) 『SS における汚染土壌の浄化技術 - パンフレット - 』 社団法人全国石油協会
- 13) 『消防白書』 消防庁 (2007)
- 14) "Analytical Methods for the Determination of Total Petroleum Hydrocarbons in Soil, Proceeding of the Fifth National Workshop on the Assessment of Site Contamination", Ross Sadler and Des Connell

## 参考資料

- 参考資料 1 最近の土壌汚染調査・対策技術集
- 参考資料 2 油汚染対策ガイドラインの概要(平成18年3月22日環水大土発第060322001号)
- 参考資料 3 消防法(抜粋・改正平成18年6月14日法律第64号)
- 参考資料 4 平成19年度危険物事故防止アクションプラン(平成19年3月26日危険物等防止対策情報連絡会)
- 参考資料 5 油土壌汚染等調査対策に関するアンケート調査回答票

最近の土壌汚染調査・対策技術集 (I)

出典:「環境省(HP)」など

会社名	技術名	浄化期間	浄化効率	処理能力 [kg/h]	適用項目・濃度範囲	単価 [円/m <sup>3</sup> ] (65m <sup>3</sup> =120L)
アイ.エス.ソリューションズ	プロバゲーションと注入井戸を用いた複合原位浄化技術	フェントン試験を用いる場合は1-6ヶ月、バイオの場合1-2年	約95%、鉄では基準値以下		VOC(ベンゼン、PCE、TCE、DCE)、軽油など	850万円(20m <sup>2</sup> 1カ所、井戸2本)
2 浅沼組	電気修復法	シルト、砂質土では6ヶ月、他は1-2年	28%		鉛、六価クロム、ホウ素、セレン、シアン、ホウ素、環境基準の10倍以下	PCE溶出値30mg/Lでは26,000(矢張なし:14000)
3 みるい建設工業	短期原位浄化微生物活性型のバイオレメディエーション(EDC工法)	3ヶ月			PCE、TCE、DCE、3mg/L	
4 アサヒ地水探査	原位浄化エアレーション工法	搬入から撤去まで15-20日	90% (物質による)		VOC全般、溶出量基準の100倍程度まで	
5 アステック	ハイブリッド浄化工法	搬入から撤去まで約1ヶ月			重金属等全般、ダイオキシン類、油類、VOC、含有量基準の5-8倍程度以内、溶出量基準500倍程度まで	
6 アステック	オンサイト洗浄工法	搬入から撤去まで1ヶ月			重金属等全般、ダイオキシン類、油類、VOC、含有量基準の5-8倍程度以内、溶出量基準の500倍程度まで	
7 アムスエンジニアリング	原位浄化浄化工法(アムスエコプラントシステム)	21-25日	約97%		VOC、油類、土壌基準環境濃度の数倍から数百倍程度まで(環境基準以下)に浄化	
8 エコグローバル研究所	光触媒シートと太陽光を使ったVOC浄化	20日-1ヶ月	99.5%以上	200-300	VOC、TCE、PCEで200ppmv以下	37,000(10,700)
9 荏原製作所	アルカリ触媒分解法(BCD法)	連続法:10日、対策期間:2ヶ月	約97%		DXNs、PCB、農薬	Run1:62,833、Run2:78,000
10 荏原製作所	土壌還元法	連続法:10日、対策期間:2ヶ月	約97%		VOC、濃度に関わらない、ただし微生物の存在できない大きな原液を注入は不可	
11 荏原製作所	土壌ガス吸引+エアースパージング	砂質、ロームであれば1ヶ月程度	-		VOCに適用可、重金属、農薬などには適用不可、高濃度時に、低濃度で浄化速度下がる	一式:770万円、リース:224万円/月
12 荏原製作所	土壌ガス吸引+原位浄化化学酸化	砂質、ロームであれば3ヶ月程度	-		VOCに適用可、重金属、農薬などには適用不可、高濃度時に、低濃度で浄化速度下がる	一式:810万円、リース:292万円/月
13 オオスミ	掘削除去及び非汚染土置換	2ヶ月程度	100%		有害物質の種類は選択性を持たない	
14 オオスミ	原位浄化における酸化鉄系VOC分解材による分解浄化	2-4週間(数10-数100倍)、1-3ヶ月(数100倍以上)			VOC(1,2-ジクロロエタンは特殊な環境下で分解可能)、環境基準-1,000mg/Lを超える高濃度汚染	
15 奥村組	浸漬処理による重金属汚染土壌の浄化技術	掘削から埋め戻し、仮設備撤去まで約2週間	約43%以上		七素、鉛、カドミウム、セレン、六価クロム、シアン、ホウ素、フッ素、土壌含有量は指定基準の2-3倍、土壌溶出量は指定基準以上	80,850
16 鹿島建設	掘削除去	2週間	100%	対象物質19.2 g/day	すべての特定有害物質、指定区域の有無、汚染物質や濃度により仮設方法・掘削先・処理方法が異なる	6,700
17 鹿島建設	水平井を用いたバイオスパージング工法	65日			VOC、吸引の適用性を判断するために通気性試験が必要	
18 鹿島建設	土壌ガス吸引+揚水曝気	土質によって異なり、半年から数年程度	75%以上		PbO	
19 神奈川工科大学	SiO <sub>2</sub> によるPbOの固定	-	70-86%	1.667	DXNs、PCB	59,713
20 環境エンジニアリング	湿式酸化ラジカル法によるPCB汚染土壌処理技術	6ヶ月-1.5年			VOCによる汚染対策、高濃度汚染(50mg/L)	12,500
21 鴻池組	オンサイトでの湿熱処理によるVOCの気化促進浄化	約1.5ヶ月	99.9%以上	20	POPs、農薬	58,500
22 鴻池組	[TP8+ジオメルト]法	1ヶ月			重金属など、溶出量基準の100倍まで対応可能	13,000
23 鴻池組	Mg系固化材を用いた重金属など汚染土壌の固化・不溶化技術	1週間-1ヶ月程度(PCE:0.5mg/L)			ニクロロエチレン	167円/m <sup>2</sup>
24 三共工業	グラウンドエアシステム	0.5日			VOCや油類による汚染	20,300-59,100
25 清水建設	フェントン(化学的酸化)法	3-4日	80-99%	35,000-40,000	鉱物油、PAHs、重金属、シアンなど	25,000-35,700
26 清水建設	土壌洗浄法	6ヶ月-1年程度、3ヶ月の施工もあり、汚染物質濃度と土質により左右	93.7-99.8%	50-100	VOC、10mg/L程度	81,458
27 清水建設	シヨックロード法(原位浄化浄化法)	1.6年			VOC、環境基準の数十倍	5,000-20,000
28 神興環境ソリューション	還元加熱法と金属Na分散体法との組合せ処理法	3-6ヶ月	BOC(7%) DOC(100%)		VOC、環境基準の数十倍	
29 新日本製鐵	EDC(Electron Donor Compounds)による浄化法	0注入後1-2ヶ月程度で環境基準以下達成可能	約100%		溶出量が数十mg/LまでのVOCによる土壌汚染、地下水汚染	
30 新日本製鐵	コロイド鉄粉溶液(Ci: Colloidal Iron)注入工法		約100%		溶出量が数十mg/LまでのVOCによる土壌汚染、地下水汚染	
31 スミコンセルテック	定置型土壌洗浄プラントにおける土壌洗浄		80.6%		重金属	
32 大旺建設	過熱蒸気による還元分解法	約2年	99.8%以上	1,000	DXNs、PCB	48,875
33 大成基礎設計	掘削除去	掘削、埋め戻し	100%		PbO, SO <sub>3</sub> , MgO, TiO <sub>2</sub> , MnO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Zn, F, Cu, Cl, Ni, V, B, Sn, Pb, Cr, CN, 六価クロムで300ppm以下	掘削、埋め戻し:3,450、汚染土壌処理:18,000
34 大成基礎設計	土壌ガス吸引法+地下水揚水法	砂質土、ロームで1ヶ月			揮発性物質など、濃度によらない	17,850-21,430
35 大成建設	化学分解法	数ヶ月-1年			PCE、TCE等のVOC、濃度によらない、ただし原液が存在する場所では不可	100,000(処理土壌が増えた場合はコストダウンが可能)

最近の土壌汚染調査・対策技術集 (2) 出典:「環境省(HP)」など

会社名	技術名	浄化期間	浄化効率	処理能力 [kg/h]	適用項目・濃度範囲	単価 [円/m <sup>3</sup> ] (65 m <sup>3</sup> =120 t)
36 大成建設	3価マンガノ錯体による湿式浄化方法	1年	POB分解効率 35.3%	1,667	DXNs, PCB	63,556
37 大成建設	フッ素吸着材を用いた原位置浄化技術	4日			フッ素、130mg/kg	フッ素抽出量 6-8mg/L、53,769
38 大成建設	既設構造物下部における揮発性有機化合物による土壌・地下水汚染を対象とした原位置浄化技術	約90日		対象物質 64 g/day	VOC	40,000
39 大成建設	浄化剤注入による原位置浄化技術	約30日		対象物質 13.3 g/day	VOC	13,000
40 太平洋セメント	セメント資源化	埋め戻し2-3日(汚染土壌処理完了まで10日)			VOC、水銀、シアンに汚染されている土壌については無害化しては可。	600万円程度
41 竹中工務店	地下水の有効利用を考慮したナノイオンの注入技術	約1ヶ月			VOC、0.15-1.5mg/L	高濃度:22,800、低濃度:18,100
42 竹中工務店	減圧還元間接加熱分解法	1年以内も可	99.85%以上	1,000-1,800	DXNs, PCB	111,208
43 竹中工務店	DCM-8によるVOC分解浄化	4-6ヶ月	約100%		四塩化炭素、PCE、TCE等、濃度は環境基準の10-100倍程度	
44 田中環境開発	フアンポン試薬の超高圧ジェット噴入による原位置浄化	11日	約100%		すべてのVOCに適用可、環境基準値の10,000倍まで適用可	29,320-30,000
45 田中環境開発	超高圧ウォータージェット・バキュームウエールによる地層洗浄工法	13日	80-90%	対象物質 13.3 g/day	すべてのVOCに適用可、環境基準値の1,000倍程度まで適用可	35,325-51,507
46 東亜建設工業	VOC汚染土壌の加熱処理による浄化	約1ヶ月		4,167	VOCはすべて対応可能、複合汚染の場合も一括処理が可能	112,500
47 東芝・テイルム・鴻地組	間接加熱脱着+水蒸気分解法	23ヶ月	ほぼ100%	900(300:システム)	DXNs, PCB, 有機物	65,875
48 東和科学	比色式NAPL検出法	約6ヶ月		30m <sup>3</sup> /日	NAPL、1.0mg/L	土量:約780-860、地下水量:約2,650-2870
49 東和科学	サイクリック・バイオレメディエーション	6ヶ月-1年程度で浄化			臭気分解:PCE、TCE、DOE等、好気分解:鉛、銅、シアン等、50mg/L(VOC)	28,500-46,000
50 同和鉱業	圃間一土壌洗浄法	現地工事で1週間	100%		高濃度含有量に特に有効、溶出量はPb、As、Cd、Cr6+、F(10mg/L)、CN(5mg/L)、Se、B(1mg/L)、Hg(0.01mg/L)、有機ヒ素は不可	
51 同和鉱業	直接鉄粉混合法(DM工法)	現地工事7日、浄化3-6ヶ月	約100%		VOCの基準値の100-10,000倍	5,540(4tタンク)、3,740(7tタンク)
52 新館建設	土壌入れ替え工法	10日	-		重金属類	18,840
53 西松建設	AMP工法と酸化鉄を用いたVOC処理技術	4週間		対象物質 101 g/day	テトラクロロエチレン	2,650
54 西松建設	VAMP-crete工法	2週間-2ヶ月			VOC(メタン系、エタン系を除く)、浄化可能な汚染濃度は環境基準値の1,000倍程度まで	
55 間組	掘削除去	掘削、埋め戻し2日(汚染土壌処理完了まで2週間)	100%		制限なし	汚染土壌搬出・処理:32,000
56 スミコンセルテック	水蒸気分解処理技術	9ヶ月	ほぼ100%	EF洗浄処理速度:1,667、溶融分解処理速度:417	PCB	86,417
57 前澤工業	MUP吸引曝気装置を用いた二重吸引法	砂質土・ロームで6ヶ月			基本的にVOC、水処理設備をつけることで油汚染、重金属類にも適用可能	25,570
58 前田建設工業	鉄粉原位置混合攪拌	1週間-3ヶ月程度	-		環境基準の100倍程度のPCE、TCE、DOE等のVOC	
59 松下環境空調エンジニアリング	簡易処理装置を用いた土壌ガス吸引法及び地下水揚水法の併用工法	数年間			PCE、TCE等のVOC、土壌ガス:数百ppm以下、地下水:数十mg/L以下	49,593
60 三井造船	間接加熱酸化分解法	6ヶ月	ほぼ100%	2,400	DXNs, PCB	
61 三井造船	Veg Oilプロセスによる嫌気性微生物浄化	1.5-3年	90%		VOC(嫌気性微生物分解が可能であれば高濃度でも適用可能)、環境基準値以下に浄化	
62 三菱重工業	溶剤抽出法	1.8年	98.2-99.9%	962.5	PCB	53,093
63 三菱重工業	溶剤抽出法と水蒸気分解法を組み合わせたPOPs濃汚染土壌の無害化処理技術	5年	71-100%	1,250	POPs農薬類	113,333
64 三菱マテリアル	mrcc方式酸化剤浄化工法	3.5ヶ月			VOC、高濃度汚染にも適用可能	10,500
65 三菱マテリアル資源開発	揮発性有機化合物による汚染土壌・地下水の酸化剤併用多孔質媒体浄化技術	45日-13ヶ月		対象物質 200 g/day	テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、dis-1,2-ジクロロエチレン	11,000-41,000
66 みらい建設工業、東急建設	特殊注入材によるVOC浄化	数ヶ月であれば1ヶ月、数十mgであれば2-3ヶ月	約99%		VOC(ジクロロメタンは不可)、数十mg/L	16,500-32,000
67 ライト工業	蒸気促進浄化法	透水係数10 <sup>-4</sup> cm/s程度の砂質で1ヶ月			VOCや比較的沸点の高い油類に適用可能、様々な濃度の汚染に適用可能	
68 早稲田環境研究所	加圧水洗浄分離間接加熱分解法	200日	99.81%以上	1,000	DXNs	27,318

環水大土発第060322001号  
平成18年3月22日

各都道府県・土壤汚染対策法政令市  
土壤環境行政担当部（局）長 殿

環境省水・大気環境局  
土壤環境課長

「油汚染対策ガイドラインー鉱油類を含む土壤に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対応の考え方」の送付について

平成18年3月8日に開催された中央環境審議会土壤農薬部会土壤汚染技術基準等専門委員会で別添の通り「油汚染対策ガイドラインー鉱油類を含む土壤に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対応の考え方」が報告書として取りまとめられたので参考のため送付する。

下記に本ガイドラインの趣旨及び油汚染問題への対応の考え方を示すので、御理解の上、土壤環境行政を推進する上で参考とされたい。

特に、本ガイドラインの第一編の第一及び第二は、本ガイドラインの基本的考え方及び油汚染問題に対する対応の考え方が記述されており、御一読され十分な御理解をお願いします。

また、本ガイドラインの第一編第一3.(2)4)にもあるが、貴職におかれては、油汚染問題への対応は、現場ごとにその状況に応じて行うことが必要であるから、本ガイドラインはいかなる現場にも画一的規制的に用いることができるものとして作成したものではないし、何らかの基準値や規制値のようなものを決めているものでもないことに配慮されたい。

さらに、地方公共団体において油汚染問題があった土地の所有者等やその周辺の住民等から油汚染問題に関する相談を受けた場合には、例えば、本ガイドラインが対象とする油汚染問題への対応を含む自主的な対応指針を持っている事業者が当該対応指針に基づいて行っている自主的な取り組み、工場・事業場の敷地のまま使い続けられる土地で周辺に油汚染問題を拡散させないようにしながら行われる自主的な対策、土地取引の際の当事者同士の合意に基づく対策について、このガイドラインが規制的な制約とならないように配慮されたい。

なお、土壤環境行政担当者ブロック会議を開催することを計画中であり、それと同日に、同じ場所又は近接の場所で本ガイドラインの活用者として想定している土地所有者等を対象として本ガイドラインの説明会を開催する予定である。これらのブロック会議及び説明会については時期が決まり次第御連絡するので、よろしくをお願いします。

## 記

### 1. 背景

土壌汚染対策法の制定前は、油汚染土壌の調査及び対策についてベンゼンのような有害物質による健康リスクなのか、油臭や油膜による生活環境保全上の支障なのか明確に区別されないままに土壌の「油汚染」と認識されていた。平成15年2月から土壌汚染対策法が施行され、有害化学物質については、人の健康保護という観点から特定有害物質について必要な調査及び対策の枠組みが確立した。

一方、この土壌汚染対策法の国会審議の中で、「土壌汚染による生活環境や生態系への影響、油類等の汚染実態の把握などについて早急に科学的知見の集積に努めること。」という趣旨の附帯決議がなされた。また、土壌汚染対策法の制定に際し土壌環境保全対策の在り方が中央環境審議会土壌農薬部会土壌制度小委員会において審議されたが、中央環境審議会の答申「今後の土壌環境保全対策の在り方について（答申）」（平成14年1月）の中で、中長期的な観点から今後調査研究や検討を進めるべき課題として、油による土壌汚染等生活環境の保全の観点からの対応が指摘されていた。

こうした附帯決議や指摘を受けて、環境省では学識経験者から成る検討会を設け、科学的知見の集積に努めるとともに、油による土壌汚染に関する調査手法や対応策に係る指針の検討のための調査検討を行ってきた。

調査検討の結果などを基にして、油含有土壌に起因する油臭や油膜に関して、平成17年6月24日に開催された中央環境審議会土壌農薬部会においてガイドラインを作成することが決まり、同部会土壌汚染技術基準等専門委員会における4回にわたる審議を終え、またその過程で国民意見の聴取（パブリックコメント）を実施し、平成18年3月8日に開催された同専門委員会で標記ガイドラインが報告書として取りまとめられた。

### 2. 本ガイドラインの趣旨と活用場面

本ガイドラインのねらいは、鉱油類を含む土壌（以下「油含有土壌」という。）に起因して、その土壌が存在する土地の地表、あるいはその土地にある井戸の水や池・水路等の水に油臭や油膜が生じているときに、土地の所有者等が、その土地においてどのような調査や対策を行えばよいかなどについて、基本的な考え方と、取り得る方策を選択する際の考え方などを取りまとめ、油汚染問題の解決を図るために参考として活用してもらえるようにすることをねらいとしている。

油汚染問題とは、「油含有土壌に起因して、その土壌が存在する土地（その土地にある井戸の水や、池・水路等の水を含む。）において、その土地またはその周辺の土地を使用している又は使用しようとする者に油臭や油膜による生活環境保全上の支障を生じさせていること」であり、油含有土壌の存在自体ではなく、また、地下水があっても井戸水等として利用されておらず、油臭や油膜が問題となっていないならば、油汚染問題としてとらえていない。

本ガイドラインは、油汚染問題があったときに、その土地の所有者等が土地の利用方法や、敷地内での井戸水等の利用の状況、周辺の土地や井戸

水等への影響のおそれなどの現場ごとの多様な状況に応じた対応方策の検討に活用することを想定した。

油汚染問題についての対応方法は、その現場の状況に応じて個別に検討すべきものであるため、本ガイドラインはいかなる現場にも画一的規制的に用いることができるものとして作成したものではない。

### 3. 構成と概要

ガイドラインの構成は、第一編「鉱油類を含む土壌に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対応の考え方」と第二編「技術的資料」とからなっている。第二編については、第一部「基礎編」と第二部「専門編」とからなっている。それらの概要については別紙の通りである。

「基礎編」は、土壌汚染の調査や対策についての基礎知識や、油汚染問題に対応するための専門的知識等を有さない土地所有者等にもわかりやすい技術的資料をとりまとめたものである。

「専門編」は、油汚染問題の調査・対策事業を行う事業者を念頭に置いて作成したものであり、土壌汚染の調査・対策についての基礎知識や油汚染問題に関する知識・経験を有する者に向けた技術的資料となっている。

### 4. 油汚染問題への対応の基本的考え方

油汚染問題に対する対応の基本は、地表や井戸水等の油臭や油膜という、人が感覚的に把握できる不快感や違和感が感じられなくなるようにすることである。

鉱油類には種々の種類があり、油汚染問題を生じさせている油の状態も様々であり、油の濃度が同じでも油臭や油膜の状況が異なるため、油含有土壌に起因する油臭や油膜の把握は、嗅覚や視覚といった人の感覚によることを基本とし、それらを補完するものとして、関係者の共通の理解を得るための手段としてT P H濃度を用いる。

本ガイドラインは、一般的な工場・事業場の敷地や市街地を想定している。従って、保守のために油を塗った線路や、アスファルト舗装をした直後の道路の油臭などについての対応、タンクローリーの転倒などの事故直後の対応、水道管や下水道管への油の浸入への対応などについては、本ガイドラインに記述した調査・対策の検討に当たっての考え方をそのまま用いることは適当ではない。

### 5. その他

本ガイドラインでは、油含有土壌が存在し、かつ油汚染問題が生じている場所（調査地）がある土地の敷地内において行う地表や井戸水等の油臭や油膜への調査・対策について述べてあり、その敷地の周辺における調査・対策については直接言及してはいない。

本ガイドラインには、鉱油類の成分となっている化学物質による人の健康保護という観点が含まれていないので、例えば鉱油類を中心とした使用済み油に含まれる有害化学物質については、本ガイドラインによる対応を行うか否かに関わらず、土壌汚染対策法や条例等に基づいて必要な措置を講ずることが必要である。

## 油汚染対策ガイドライン

### 一 鉱油類を含む土壌に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対応の考え方 (概要)

#### I. 目次

##### 第一編 鉱油類を含む土壌に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対応の考え方

- 第一 本ガイドラインの基本的考え方
- 第二 油汚染問題に対する対応の考え方
- 第三 状況把握調査
- 第四 対策

##### 第二編 技術的資料

- 第一部 基礎編(油汚染問題に対応するための専門的知識等を有さない土地所有者等向け)
  - 第1章 状況把握調査、 第2章 対策
- 第二部 専門編(油汚染問題のある土地で調査・対策事業を行う専門事業者向け)
  - 第1章 状況把握調査、 第2章 対策

#### II. 骨子

##### 第一編 鉱油類を含む土壌に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対応の考え方

###### 第一 本ガイドラインの基本的考え方

1. 土地の所有者等が、自らの土地で油汚染問題(※)が生じているときに、どのような調査や対策を行えばよいかなどにつき、基本的考え方と対応方策選択の考え方等をまとめた。  
※ 鉱油類を含む土壌(「油含有土壌」)に起因して、その土壌が存在する土地(その土地にある井戸の水、池・水路等の水を含む。)において、その土地又はその周辺の土地を使用している又は使用しようとする者に油臭や油膜による生活環境保全上の支障を生じていること。
2. 油汚染問題の発見の契機と対応フローは図1、図2に示すとおりである。また、ガイドラインに記述した調査・対策の対象範囲は図3に示すとおりである。
3. 鉱油類は種類も成分も多く、また環境中で性状が変化するので、土壌中の鉱油類の濃度で油臭や油膜の程度を一律に表現できず、人の感覚によって総体としての油臭や油膜をとらえることを基本としている。
4. 油汚染問題についての対応方法は、油汚染問題がある土地の利用方法、その土地における井戸水等(※)の利用状況、周辺の土地や井戸水等への影響のおそれ等の、現場ごとの多様な状況に応じて個別に検討すべきものである。  
※ 飲用井戸、散水等の雑用井戸等の水、修景用の池の水、敷地内の水路を流れる水等。  
工場・事業場の油水分離施設中の水のように油臭・油膜があって当然の水は想定外。

5. そのため、このガイドラインは、いかなる現場にも画一的規制的に用いるべきものではなく、現場毎の多様な状況に応じた対応方策の検討に活用されることを想定している。
6. また、例えば、本ガイドラインが対象とする油汚染問題への対応を含む自主的な対応指針を持っている事業者が当該対応指針に基づいて行っている自主的な取り組み等について、このガイドラインが規制的な制約とならないようにすることが必要となる。
7. このガイドラインで、嗅覚などの人の感覚を補完するための手段として記述されている全石油系炭化水素(Total Petroleum Hydrocarbon (TPH))濃度も、その数値は土壤汚染対策法の指定基準のような使い方をするのではなく、各現場における調査等において通用する目安としてみるべき数値として用いる。
8. このガイドラインに記述した内容は一般的な工場・事業場の敷地や市街地を想定したものであり、線路・道路等の施設での対応、タンクローリーの転倒事故等の事故直後の対応等についてガイドラインの考え方をそのまま用いることは適当ではない。
9. このガイドラインには、鉱油類の成分となっている化学物質による人の健康保護という観点が含まれていないので、有害化学物質については、本ガイドラインによる対応を行うか否かに関わらず、土壤汚染対策法や条例等に基づいて必要な措置を講ずることが必要である。

## 第二 油汚染問題に対する対応の考え方

1. 油汚染問題に対する対応の基本は、地表や井戸水等の油臭や油膜という、人が感覚的に把握できる不快感や違和感が感じられなくなるようにすることである。
2. 油汚染問題を認識したら、調査地(※1)の土壤が含む鉱油類が油汚染問題の原因かどうかを調べ、もしそうなら、調査地のある敷地の土地利用履歴や鉱油類を取り扱っていた設備等の状況、敷地内の他の場所や井戸水等における油臭や油膜がないかどうかなどを調べ、油臭や油膜が生じている土地の範囲を特定するなどの調査(※2)を行う。
  - ※ 1 油含有土壤が存在し、かつ油汚染問題が生じている場所をいう。
  - ※ 2 これらの一連の調査メニューを「状況把握調査」という。どのような項目及び内容の調査を行うかについては、油汚染問題の程度や土地利用の状況と方針によって異なるほか、調査地に関する既存資料の入手の容易さによっても異なるので、現場の状況に応じた判断が必要となる。
3. 状況把握調査では、人の嗅覚や視覚によって様々な状態の油が生じさせている油汚染問題を総体としてとらえることとし、それらの感覚を補完し関係者の共通の理解を得るための手段としてTPH濃度(※)を用いる。
  - ※ TPHの試験法は種々あり各々の方法の特徴がある。鉱油類であるかどうかの確認にはGC-FID法を利用する。油含有土壤の存在範囲の把握には上記確認で得た情報や調査地で使用した鉱油類の情報を参考に、現場に適したTPH試験法を選択して用いる。選択したTPH試験法は記録に明記する。

4. 対策は、油汚染問題の状況、調査地のある敷地の現在の及び予定されている土地利用の目的や方法によって適切に選択する。
  - ① 油臭や油膜は人の感覚で捉えられるものであるから、油臭等がある土地と土地利用者等との位置関係や土地利用方法によって、地表面での油臭や油膜が問題となる程度は異なる。
  - ② 例えば、裸地での使用と子供の土遊びを想定すべき児童公園等では、地表に寝転んでも油臭がしないような状態を達成し、それを長期的に維持管理することが対策目標となることが考えられる。
  - ③ また、将来の追加的な対策は難しい戸建て住宅の用地として売却を予定している場合には、油含有土壌の掘削除去や浄化が対策目標となることが考えられる。
  - ④ 都心部の事務所や駐車場用地のような土地利用方法であれば、油含有土壌があっても、土地を使用する人が油臭や油膜を感じない場合もある。
5. 地表での問題には、例えば盛土や舗装などによる油臭の遮断や油膜の遮蔽が、井戸水等の問題には、遮水壁やバリア井戸による油臭や油膜を発生させている油分の拡散防止が基本的な対策となる。
6. 油汚染問題の発見から調査、調査結果を基にした対策の検討、対策効果の確認までの対策の内容などについては、それらを記録して保存する。契機から対策完了までの間、必要に応じて適宜関係者への説明や協議を行うことが、油汚染問題の円滑な解決に有効である。

### 第三 状況把握調査

1. 状況把握調査は、土地の所有者等が、所有している土地の地表又は井戸水等に当該土地の油含有土壌に起因した油汚染問題が生じていると認識した場合に行うものである。
2. 状況把握調査は、油臭や油膜が鉱油類によるものであるか否かを確認し、その油汚染問題に対する対策の要否やその内容の検討等に必要な情報を取得し、整理することを目的に行うものである。
3. 状況把握調査は、以下に述べる現場確認、資料等調査、油含有土壌の存在範囲の把握、対策を検討するスキームの設定等の一連の調査メニューから構成されるものであるが、状況に応じて必要な調査を行えばよい。
  - 1) 油臭や油膜が鉱油類に起因するものであるかどうかを TPH 試験により確認する。
  - 2) 油臭や油膜が鉱油類に起因するものであることが確認されたら、① 鉱油類の取扱いの履歴等の資料等調査、② 油汚染問題の発生状況の把握、③ 油含有土壌の存在範囲の把握、④ 対策を検討するスキームの設定を行う。
- 3) 調査終了後は結果を取りまとめて保存する。

## 第四 対策

1. 対策は、調査地のある敷地内において、その土地利用状況に応じ、油含有土壌に起因して生ずる油臭や油膜による生活環境保全上の支障を解消するために行うものである。
2. 対策にあたっては、まず、土地利用方法に応じて、また、調査地内の油含有土壌についてのみ対策すればよいのか、調査地のある敷地内の井戸水等についても対策が必要か、周辺の井戸水等を意識した対策が必要か、などの基本的な要件を踏まえて対策方針と対策目標を設定する。
3. 対策目標を具体化するため、地形・地質等の自然的条件と、現在の又は予定されている土地利用情報等をもとにして、ア)土地利用方法に適した対策方法、イ)代替案の有無、ウ)対策方法ごとの費用対効果、エ)対策後の土地利用上の支障の有無、オ)地形・地質による施工性の制約等を検討し、効果的で、経済的に合理性が高い対策方法を選定して計画的に実施する。必要があれば、状況把握調査を補完する調査を行う。
4. 対策後には、対策効果の確認、記録の作成と保存、対策内容や土地利用方法に応じて必要となるモニタリング等を行う。

## 第二編 技術的資料

### 第一部 基礎編

土壌汚染の調査や対策についての基礎知識や、油汚染問題に対応するための専門的知識等を有さない土地の所有者等にもわかりやすく取りまとめた技術的資料。

#### 第1章 状況把握調査

土地の所有者等が自らの土地の地表又は敷地内の井戸水等に油臭や油膜が生じていることを発見したときに行う状況把握調査について説明。

#### 第2章 対策

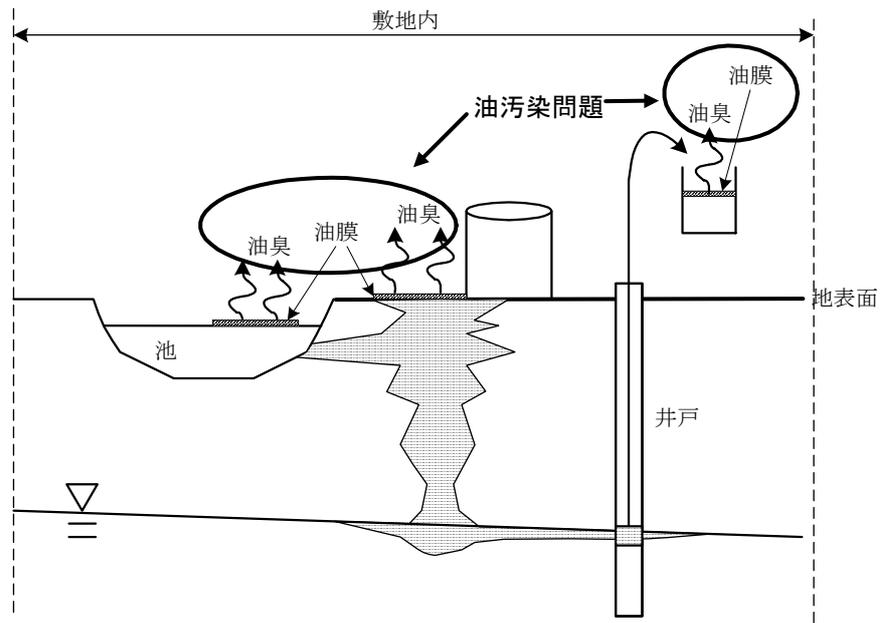
土地の所有者等が自らの土地に油汚染問題が発生したときに、その土地の土壌又は井戸水等について行う対策について、土地の所有者等が発注者となることを想定して説明。

### 第二部 専門編

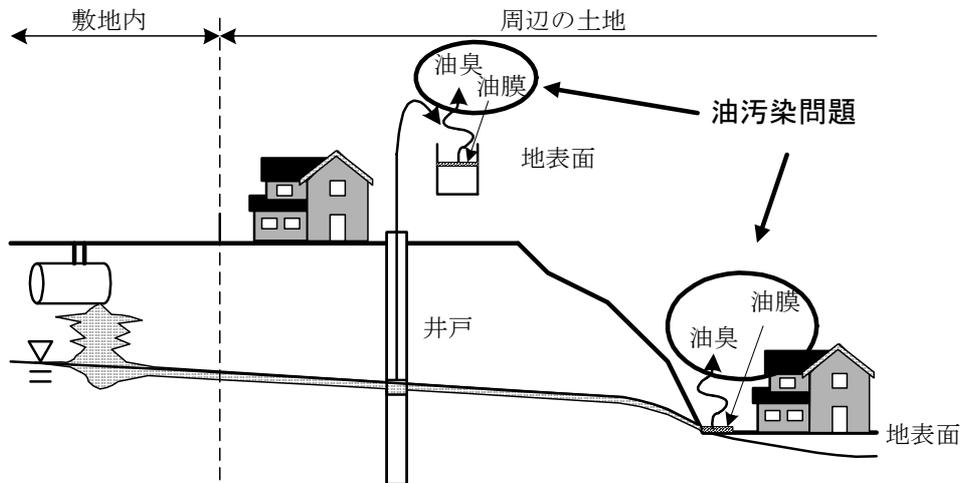
油汚染問題の調査・対策事業を行う事業者を念頭に置いて作成。土壌汚染の調査・対策についての基礎知識や油汚染問題に関する知識・経験を有する者に向けた技術的資料。

#### 第1章 状況把握調査

#### 第2章 対策

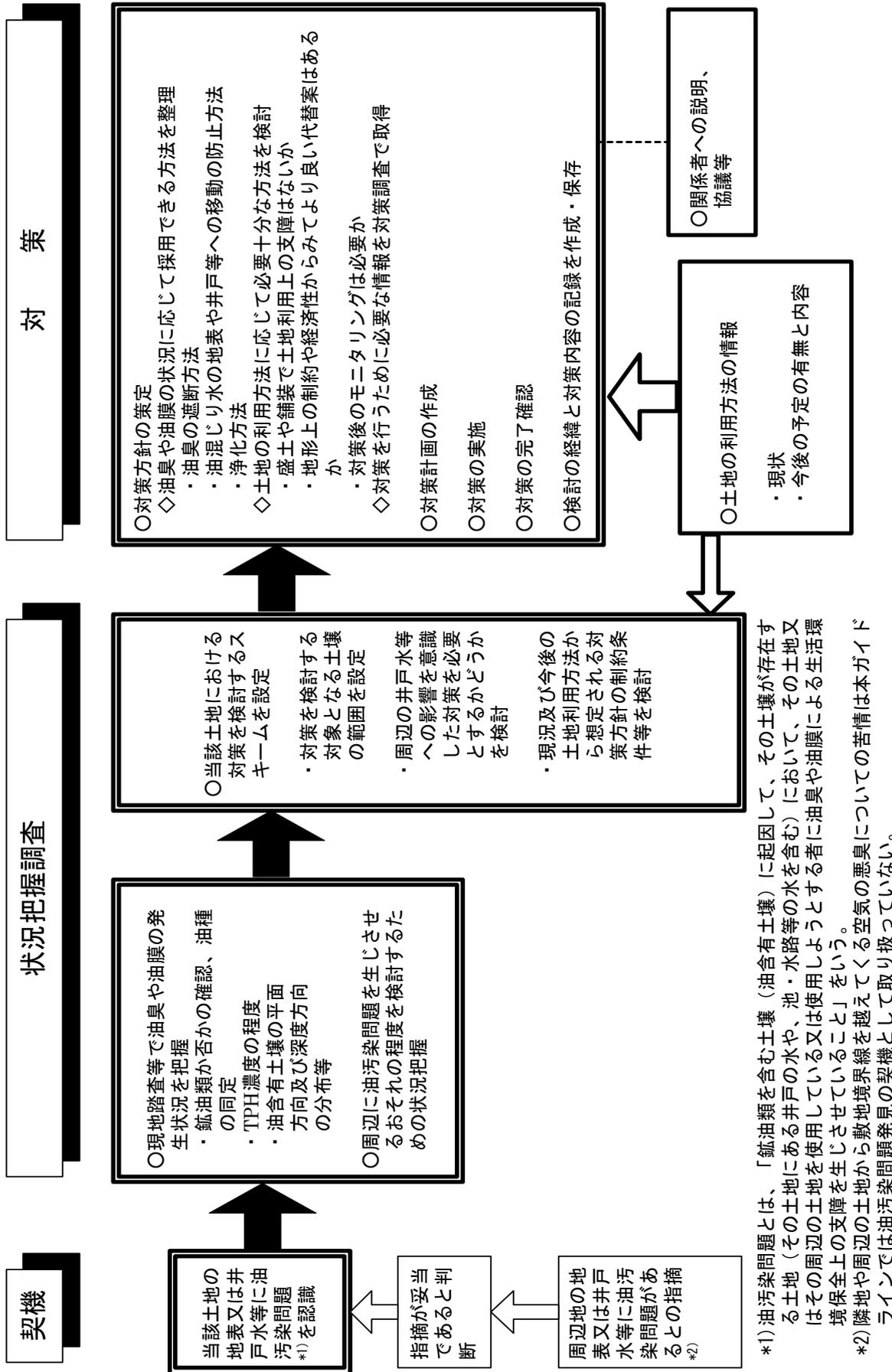


(a) 油含有土壌が存在する土地の地表又は井戸水等に油臭や油膜が生じている場合



(b) 油含有土壌が存在する土地の周辺の土地の地表又は井戸水等に油臭や油膜が生じている場合

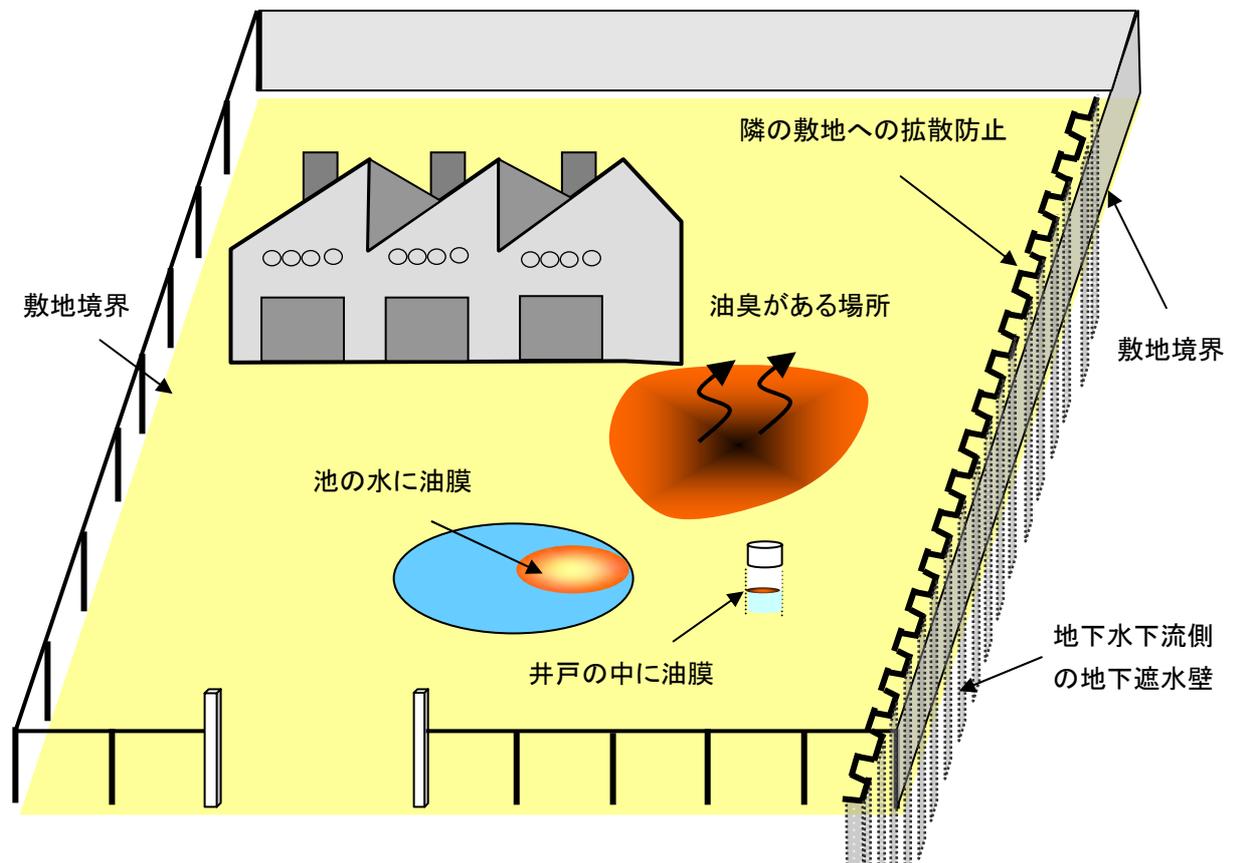
図1 油汚染問題発見の契機



\*1) 油汚染問題とは、「鉱油類を含む土壌（油含有土壌）に起因して、その土壌が存在する土地（その土地にある井戸の水や、池・水路等の水を含む）において、その土地又はその周辺の土地を使用している又は使用しようとする者に油臭や油膜による生活環境保全上の支障を生じさせていること」をいう。

\*2) 隣地や周辺の土地から敷地境界線を越えてくる空気の悪臭についての苦情は本ガイドラインでは油汚染問題発見の契機として取り扱っていない。

図2 油汚染問題への対応フロー



- ・ 本ガイドラインは、調査地(油含有土壌が存在し、かつ油汚染問題が生じている場所)のある敷地において、その所有者等が行う調査・対策について取りまとめたものであり、その敷地の周辺の土地で行う調査や対策については記述の対象外である。
- ・ 本図における「調査地」は、油臭がある場所、並びに、油膜が見られる池及び井戸のある場所。

図3 調査・対策の対象範囲

## 消防法（抜粋）

（改正平成 18 年 6 月 14 日法律第 64 号）

第 10 条 指定数量以上の危険物は、貯蔵所（車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し、又は取り扱う貯蔵所（以下「移動タンク貯蔵所」という。）を含む。以下同じ。）以外の場所でこれを貯蔵し、又は製造所、貯蔵所及び取扱所以外の場所でこれを取り扱ってはならない。ただし、所轄消防長又は消防署長の承認を受けて指定数量以上の危険物を、10 日以内の期間、仮に貯蔵し、又は取り扱う場合は、この限りでない。

3 製造所、貯蔵所又は取扱所においてする危険物の貯蔵又は取扱は、政令で定める技術上の技術上の基準に従つてこれをしなければならない。

4 製造所、貯蔵所及び取扱所の位置、構造及び設備の技術上の基準は、政令でこれを定める。

第 14 条の 3 の 2 政令で定める製造所、貯蔵所又は取扱所の所有者、管理者又は占有者は、これらの製造所、貯蔵所又は取扱所について、総務省令で定めるところにより、定期に点検し、その点検記録を作成し、これを保存しなければならない。

第 16 条の 3 製造所、貯蔵所又は取扱所の所有者、管理者又は占有者は、当該製造所、貯蔵所又は取扱所について、危険物の流出その他の事故が発生したときには、直ちに、引き続き危険物の流出及び拡散の防止、流出した危険物の除去その他の災害の発生防止のための応急の措置を講じなければならない。

## 平成 19 年度危険物事故防止アクションプラン

平成 19 年 3 月 26 日  
危険物等事故防止対策情報連絡会

## 1 危険物事故防止に関する重点項目

危険物施設の事故防止対策の推進にあたっては、平成 15 年 5 月 27 日に通知された「危険物事故防止に関する基本方針」に基づき官民一体となった事故防止対策を推進することとされた。

危険物関係業界・団体、研究機関及び消防関係行政機関等が中心となり、危険物施設の事故防止に係る各種施策を積極的に展開しているところであるが、平成 15 年以降の事故件数は減少に転じることなく推移しており、非常に憂慮される状況にある。

今後の危険物施設の事故防止対策を策定するにあたっては、危険物施設の事故発生原因が火災の場合、人的要因による割合が高く、中でも保全管理が不十分であるなど管理上の問題がここ数年、火災全体の 3 割強を占めており、他の火災発生原因と比べると非常に大きな割合となっていること。漏えいの場合、近年物的要因が増加しており、中でも、腐食疲労等劣化によるものが漏えい全体の 3 割強を占めており、他の漏えい発生原因と比べると非常に大きな割合を占めていることを踏まえた対策を講じる必要がある。上述のとおり、多くの火災は管理不十分、漏えいは腐食疲労等劣化が原因であることから、日常の点検や維持管理を十分に行っていくことが大切である。

このことから、危険物施設における法令に基づく点検を確実に実施することに加え、日常点検を励行し、日頃から危険物施設の維持管理に努めることが重要である。また、これは危険物施設のみでなく少量危険物施設においても同様である。

以上を踏まえ、次に掲げる事項を危険物事故防止に関する共通重点項目とし、事故防止対策を推進するものとする。また、重点項目については、昨年度に引き続き推進するものとする。

## (1) 共通重点項目

危険物施設及び少量危険物施設の法令に基づく点検、日常点検の推進

## (2) 重点項目

ア 危険物施設における潜在的火災危険要因の把握とこれに基づく対策の推進

イ 地下タンク、配管、屋外タンク等の腐食・劣化防止対策の推進

ウ 「やや長周期地震動」に係る安全対策の推進と屋外タンク開放時等における事故防

止対策の徹底

エ 新たな火災危険性物質についての火災予防対策の徹底

## 2 推進主体別の主な重点項目

各関係分野における危険物との関わりや組織・体制等に応じた役割分担を踏まえ、次に掲げる事故防止に関する取り組みを自主的、積極的に実施することとする。

- (1) 危険物施設及び少量危険物施設の法令に基づく点検、日常点検の推進（全団体・機関）
- (2) 危険物施設における潜在的火災危険要因の把握とこれに基づく対策の推進
  - ア 製造所・一般取扱所における火災危険要因の把握と対策（化学品製造・流通業界）
  - イ 危険物施設の自主保安対策推進の支援（危険物運送業界、危険物保安関係団体）
  - ウ 設備・部品のリスク管理（危険物ユーザー）
  - エ 危険物事故の実態調査と対策の検討（危険物輸送業界）
  - オ 潜在的危険要因に応じた安全対策の推進支援（危険物保安関係団体）、（消防機関）
  - カ 大規模危険物事業所に対する自主保安管理指導の推進（消防機関）
- (3) 地下タンク、配管、屋外タンク等の腐食・劣化防止対策の推進
  - ア 屋外貯蔵タンクの維持基準の策定（石油精製・流通業界）
  - イ 二重殻タンク及び二重配管の推進並びに一重殻タンクへの高精度測定漏洩検知システムや電気防食システムの導入（石油精製・流通業界）
  - ウ 供用中の屋外貯蔵タンク側板直下のアニュラー裏面腐食検出について実機での実証試験屋外貯蔵タンクの維持基準の策定（石油精製・流通業界）
  - エ 地下タンク及び地下埋設配管等からの危険物の漏えい防止対策の推進（危険物保安関係団体）
  - オ 危険物施設の腐食防止・抑制対策、劣化した危険物施設を継続使用するための再利用対策の確立（消防機関）
- (4) 「やや長周期地震動」に係る安全対策の推進と屋外タンク開放時等における事故防止対策の徹底
  - ア 大規模屋外貯蔵タンクの長周期地震動に対する調査研究（石油精製・流通業界）
  - イ 浮き屋根のスロッシング挙動を踏まえた構造設計の共同調査研究（石油精製・流通業界）
  - ウ 大容量泡放水砲の広域配備の支援（石油精製・流通業界）
  - エ 屋外貯蔵タンク開放時事故防止対策の徹底（石油精製・流通業界）
  - オ 屋外タンク貯蔵所のやや長周期地震動に係る安全対策の推進（消防機関）
- (5) 新たな火災危険性物質について火災予防対策の徹底
  - ア 危険物と同様の火災危険性を有する新規物質開発情報の把握（化学品製造・流通業

界)

イ 新たな火災危険性物質の早期把握と事故防止対策の確立(消防機関)

(6) その他

ア 事故等に関する情報の共有化及び類似事故の発生防止(石油精製・流通業界)、(化学品製造・流通業界)、(危険物ユーザー)

イ セルフスタンドにおける給油時の安全対策(静電気火災対策、吹きこぼれ対策)の推進(石油精製・流通業界)

ウ 危険物輸送の安全性向上(化学品製造・流通業界)

エ 保安技術の普及推進及び安全意識の高揚(化学品製造・流通業界)

オ 従業員への保安教育・訓練の徹底(危険物ユーザー)

カ 危険物施設における所要の保安体制、マニュアル、自主管理点検表等の整備(危険物ユーザー)

キ 地震対策の強化(危険物ユーザー)

ク GHS関係法令(MSDS、ラベル表示)の厳守(危険物ユーザー)、(危険物輸送業界)

ケ 道路の旋回部分におけるセミトレーラーの横転防止対策の研究と対策の検討(危険物輸送業界)

コ 性能規定化された技術基準への対応の推進(消防機関)

サ 廃棄物処理施設等に対する事故防止対策の推進(消防機関)

シ 事故及び安全管理に関する情報の提供(消防機関)

【参考】

#### 危険物等事故防止対策情報連絡会参画団体(順不同)

石油連盟、(社)日本化学工業協会、石油化学工業協会、(社)日本鉄鋼連盟、電気事業連合会、全国石油商業組合連合会、(社)全日本トラック協会、(社)日本損害保険協会、日本危険物物流団体連絡会、日本塗料商業組合、(財)全国危険物安全協会、(財)消防試験研究センター、危険物保安技術協会、東京消防庁、川崎市消防局、総務省消防庁

平成18年度より参画の団体

## 油土壌汚染等調査対策に関するアンケート調査回答票

[ご回答上の注意]

- 1 回答は、設問ごとの回答欄にご記入下さい。記述の場合は該当する記述欄にご意見などをご記入下さい。
- 2 設問には、貴社全体の対策方針（全社単位）を概観してお答え下さい。
- 3 本文中の**鉱油類**とは、油汚染対策ガイドラインの対象物質である、ガソリン、灯油、軽油、重油等の燃料油と、切削油等の潤滑油を指します。

### 設問 1 はじめに

貴社の業種を 1 つ選んで記号でお答え下さい（複数該当する場合は、主となる業種）。

- a 鉱業 b 建設業 c 紙、パルプ製造業 d 石油・石炭製品製造業 e 化学工業  
 f 鉄鋼業 g 非鉄金属・金属製品製造 h 機械製造業 i 電気・ガス業  
 j 食料品製造業 k 医薬品製造業 l ガラス・土石製品製造業 m 出版・印刷業  
 n 繊維製品製造業 o ゴム製品製造業 p その他

回答欄

その他回答欄

### 設問 2 産業界における鉱油類由来の土壌汚染

(1) 貴社の敷地内におきまして、土壌汚染対策法で対象とされる有害物質に限らず、鉱油類由来の土壌汚染に関する**防止措置**を何らかの形でおこなっていますか。**おこなっていると** 答えた方は、具体的な措置の方法を選択肢よりお選び下さい（複数回答可）。

- ・ 防止措置：a おこなっている b おこなっていない
- ・ 措置方法：a 鉱油類保管設備自体の油漏洩防止対策 b 鉱油類保管設備の定期的な漏洩検査 c 未然事故防止マニュアルの作成 d 防油堤やオイルフェンスの設置 e 排水溝の設置 f 油水分離弁の設置 g その他自社規定の管理手法

回答欄

防止措置：

措置方法：

その他回答欄：

- (2) 土壤汚染対策法施行以後（平成 15 年 2 月以降）に貴社の敷地内におきまして、**鉱油類由来の土壤汚染に関する調査対策（他の物質に対する汚染調査対策と並行しておこなった場合を含めます）**をおこないましたか。調査と対策のそれぞれ件数をお答え下さい。そのうち**鉱油類由来のみの土壤汚染調査対策をおこなった場合**はその件数を（ ）内にお答え下さい。

回答欄 1	調査	件（うち鉱油類由来のみ	件）
回答欄 2	対策	件（うち鉱油類由来のみ	件）

調査・対策をともにおこなっていない方は設問 4 に進んで下さい。

- (3) 鉱油類由来の土壤汚染調査をおこなった契機は何ですか（複数回答可）。
- a 土壤汚染対策法（鉱油類以外の物質）に基づく調査    b 条例・要綱に基づく調査  
 c 自主的な調査    d 土地の売買    e 施設の更新・改築    f 自治体の要請・指導  
 g 周辺住民からの苦情    h 近隣地下水の汚染    i その他

回答欄

### 設問 3 油汚染対策ガイドラインの普及状況

- (1) 平成 18 年 3 月に環境省において油汚染対策ガイドラインが策定されましたが、これまでに油汚染調査・対策をおこなう際に油汚染対策ガイドラインを参考にしましたか。

a はい    b いいえ

回答欄

- (2) 貴社の敷地内においておこなわれた鉱油類由来の土壤汚染対策の達成に関わる基準をお答え下さい（複数回答可）。e を選んだ方は、**基準となる指標と基準値**をお答え下さい。

a 油臭または油膜の解消    b 土壤汚染対策法におけるベンゼン濃度の基準値  
 c 油汚染対策ガイドラインにおける TPH 濃度基準値    d 自治体が定める基準値  
 e 自社で規定された値    f その他

回答欄	その他回答欄
e 回答欄	基準となる指標： 基準値：

- (3) **油汚染対策ガイドライン策定以前に、鉱油類由来の土壤汚染調査・対策をおこなったことがある方**にお尋ねします。

策定以前に貴社でおこなわれた鉱油類由来の土壤汚染調査・対策につきまして、油汚染対策ガイドラインと類似していた項目はありましたか。次からお選び下さい（複数回答可）。

- a 油汚染の有無の判断 b 調査手法 c 油汚染範囲の絞り込み d 調査技術  
e 対策の流れ f 対策手法 g その他

<b>回答欄</b>	<u>その他回答欄</u>
------------	---------------

油汚染の度合いを定量するのに次のうちの指標を用いましたか。その指標を選択した理由を下の記述欄にご記入下さい(複数回答可)。

- a TPH 濃度 b 臭気強度 c 相対感度(RFR) d ベンゼン質量濃度  
e n-ヘキサン抽出物質質量濃度 f 油分全体の質量濃度  
g 油臭・油膜の有無による判断 h その他

<b>回答欄</b>	<u>その他回答欄</u>
------------	---------------

<b>理由:</b>	
------------	--

(4) 貴社でおこなわれた油汚染土壌調査・対策ではどの調査手法および対策技術を用いましたか。油汚染対策ガイドライン**資料6および7**に記載されている調査手法および対策技術を選択して下さい(複数回答可)。ただし選択肢以外を使用した場合は空欄にご記入下さい。

**調査手法**

- a GC-FID 法 b IR 法 c ノルマルヘキサン抽出法 d 検知管法  
e ガスモニター法 f ポータブルGC 法 g 抽出比濁法 h イムノアッセイ法  
i 蛍光センサー法 j 膜界面サンプリング分析法 k リボン NAPL サンプラー法  
l その他

**対策技術**

- a 盛土 b 舗装 c 遮水壁 d バリア井戸 e 地下水揚水 f 掘削除去  
g 土壌ガス吸引 h 原位置バイオレメディエーション i 化学的酸化分解  
j 熱処理 k 土壌洗浄 l 掘削後バイオレメディエーション m セメント原料化  
n その他

<b>回答欄 1</b>	調査手法	<u>その他手法名</u>
<b>回答欄 2</b>	対策技術	<u>その他技術名</u>

#### 設問 4 油汚染対策調査・対策に関するご意見

(1) 油汚染対策ガイドラインを参考にするとどのようなメリットがあると考えられますか  
(複数回答可)。

- a 浄化対策の信頼度が高まる
- b 油汚染調査・対策の方針が立てやすくなる
- c 汚染範囲の絞込みをおこなうなどでコストが安くなる
- d 調査・対策期間を短くする
- e その他意見

回答欄

意見：

(2) 鉱油類由来の土壌汚染調査・対策をおこなう際に、油汚染対策ガイドラインが現在貴社の指針となっていますか。いずれかをお選び下さい。またその理由を選択肢よりお選び下さい。

##### A なっている

- 理由: a 国(環境省)の方針であるため b 他に参考になる資料が存在しなかったため  
c 業界団体で採用されたため d ガイドラインの手法を用いることが経済的に有効であると考えられたため e その他

##### B なっていない

- 理由: a 既に自社の規定があるため b 今後鉱油類由来の土壌汚染の心配がないため  
c ガイドラインの内容が自社の方針に沿っていないため  
d ガイドラインを知らなかったため e その他

回答欄

理由：

その他回答欄

(3) 今後鉱油類由来の土壌汚染調査・対策をおこなう場合、貴社の方針は次のどれですか。

1つを選び回答欄にご記入下さい。

- a 油汚染対策ガイドラインを参考にする
- b 独自の方針に則って進める
- c 汚染の状況に応じた方針でおこなう
- e 未定
- f 鉱油類による土壌汚染の可能性がない
- g その他

回答欄

その他回答欄

(4) 今後鉱油類由来の土壤汚染調査・対策をおこなう場合、油汚染対策ガイドラインに記載されている次の事項のうち、どの項目が参考になると考えられますか（複数回答可）。

- a 油汚染の有無の判断 b 調査手法 c 油汚染範囲の絞り込み d 調査技術  
e 対策の流れ f 対策技術 g わからない h その他

<b>回答欄</b>	<b>その他回答欄</b>
------------	---------------

(5) 鉱油類由来の土壤調査・対策全般の今後の方向性についてどのようにお考えですか。

- a 油汚染対策ガイドラインに沿って自主的に進めるべきである  
b 自主的に進めるべきだが、油汚染対策ガイドライン以外の方法を用いるべきである  
c 法規制をするべき d その他ご意見

<b>回答欄</b>	<b>その他回答欄</b>
------------	---------------

(6) 油汚染対策ガイドラインについて何かご意見やお気づきの点がありましたら下の欄にご記入下さい。

<b>意見：</b>	
------------	--

**設問 5 土壤汚染全般の対策技術について**

(1) 土壤汚染対策技術（鉱油類以外も含まれます）を選択する貴社の方針において、改善を求める観点は何ですか。代表的な技術について該当する箇所にそれぞれの技術につき3つまでをつけて下さい（施工頻度が高い技術を念頭に置いてお答え下さい）。

技術名 \ 観点	コスト	施工期間	リスク低減	施工条件
掘削除去				
バイオレメディエーション				
化学的酸化分解				
土壤ガス吸引				
地下水揚水				

(2) 土壤汚染対策技術のうち、買い手の要望などにより掘削処理技術が最も多く使用されていますが、高コストであることや汚染土壌の搬出が課題となっております。掘削除去の問題点を含め土壤汚染対策技術に関する課題やニーズについてご意見をお答え下さい。

<b>意見：</b>	
------------	--

----- < 以上でアンケート調査は終了です。ご協力ありがとうございました > -----



非 売 品

禁無断転載

平成 19 年度  
土壌汚染対策に関する  
動向調査報告書

発 行 平成 20 年 3 月

発行者 社団法人 日本機械工業連合会  
〒105-0011  
東京都港区芝公園三丁目 5 番 8 号  
電話 03 - 3434 - 5384

社団法人 産業と環境の会  
〒105-0001  
東京都港区虎ノ門一丁目 3 番 6 号  
電話 03 - 3580 - 2141