

給油所等における油含有土壌の浄化技術

羽山 高義・関野 英男

規制緩和に伴い石油関連施設の統廃合・集約化が進み、結果として多くの施設跡地が生じるようになった。一方、土壌汚染対策法や油汚染対策ガイドラインが制定された。このような背景から、給油所（SS）などの石油施設における油汚染対策が実施されている。本稿では、油汚染の概要および土壌浄化技術の概要を整理したうえで、代表的な油汚染の浄化工法として掘削式3工法、非掘削式3工法の6つの工法について紹介する。

キーワード：土壌汚染，油汚染，浄化対策，石油施設，給油所，SS

1. まえがき

石油メジャーの世界的な再編の流れや国内金融業界の再編などを背景に、わが国の石油産業においても石油元売会社の再編が進められてきた。また、平成13年末をもって石油業法が廃止され、石油産業は名実ともに規制緩和・自由化がなされた。

このような流れの中にあつて、石油元売各社のグループ化が進み、製油所・油槽所・給油所（SS）といった生産・流通・販売施設の統廃合・集約化が促進されることとなった。その状況は図—1のとおりであり、結果として多くの施設跡地が生じることになった。

一方、平成15年2月、汚染土壌に含まれる特定有害物質から人の健康を保護する目的で「土壌汚染対策法」が施行されたが、油は対象外となった。しかし、法制定時の付帯決議を受けて、平成18年5月、環境省は「油汚染対策ガイドライン」を取りまとめ、土壌

から生ずる油臭・油膜を油汚染問題と定義した。

以上のような背景と、CSRや環境ISO、あるいは土地取引上のリスク回避の観点などから、石油元売各社は石油関連施設の跡地等を積極的に浄化している。

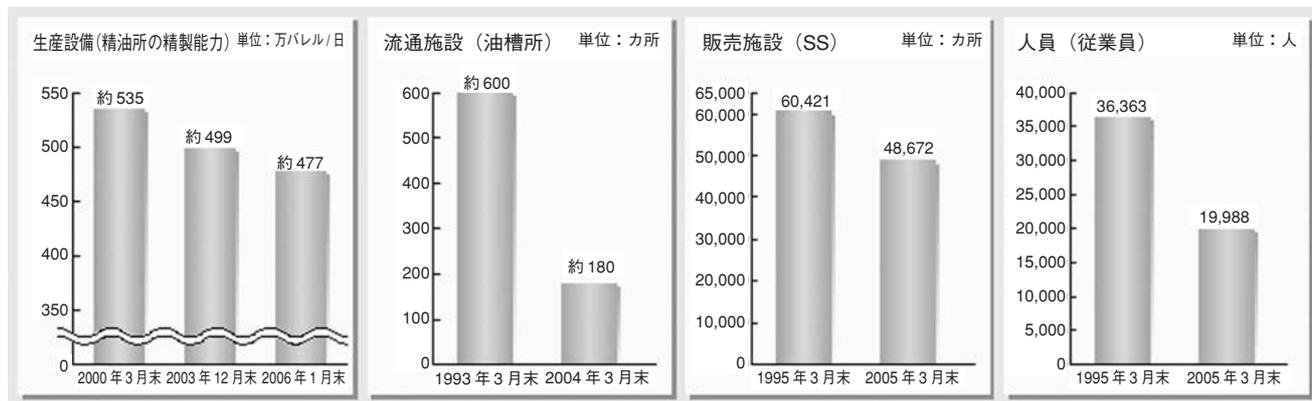
ここでは、SSなどの石油関連施設における土壌汚染の状況や浄化工法などについて現況を紹介する。

2. 油汚染の概況

(1) 油汚染の定義

土壌汚染対策法では、表—1のとおり、25種類の物質を「特定有害物質」として規定している。このうち油に関するものとしては、ガソリン等に含まれるベンゼンと、過去に使われたハイオクタンガソリンなどに含まれる鉛が該当する。

環境省の油汚染対策ガイドラインでは、土壌の油汚染問題を「鉱油類を含む土壌に起因して、その土壌が



図—1 石油産業の生産設備・流通・販売施設などの合理化（一例）（石油連盟）

表一 特定有害物質

分類	物質
第1種特定有害物質 (揮発性有機化合物)	トリクロロエチレン, テトラクロロエチレンなど [計11物質]
第2種特定有害物質 (重金属等)	カドミウム, 六価クロム, シアンなど [計9物質]
第3種特定有害物質 (農薬・PCB)	有機りん化合物, PCB など [計5種類]

存在する土地において、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」と定義している。

(2) 石油施設における油汚染

(a) 製油所・油槽所

これらは油の製造基地や貯蔵基地であり、戦災や地震などにより過去に大量の油が流出した箇所もある。また、配管の接合部などからの流出や取り扱いなどの不備により、何らかの状態では敷地内に油があるものと想定される。しかしながら、大概の場合は敷地外への流出防止策が講じられており、稼働している限りにおいて問題となることは少ない。

ただし、工場等を閉鎖し跡地を別の用途に用いる場合には、油含有土壌の処理が必要になる。

(b) 給油所 (SS)

SSの設備は、消防法等の厳しい規制の元に、安全かつ丈夫に作られており、簡単に劣化したり破損するものではない。しかしながら、長期的には地下タンクや配管の劣化が避けられず、近年では油漏洩事故も増えている。

特にSSの場合は、主要製品にガソリンが含まれており、ベンゼンや鉛による汚染の可能性もある。

(3) SSにおける漏油点検等

SSの敷地は一般に狭いので、油の漏洩は近隣住民の生活環境等に影響を与えやすく、その修復には膨大な費用がかかる。こうしたことから、石油連盟は「SS 土壌環境セーフティーブック」を発行し、SSの事業主に対して施設の安全点検に関して法定点検の他に自主点検の実施を推奨している。

また、(社)全国石油協会は、油汚染対策の理解を深めるためのパンフレットとして「SSにおける汚染土壌の浄化技術」を発行している。ここでも、油の漏洩が周辺住民への損害賠償、不動産価値の低下、社会的信用の低下などにつながることを説明し、リスクを回避するためには自主点検や未然防止策が重要であることを力説している。

(4) 油汚染の特徴

油は一般に水より軽く疎水性であるため、地下水上面に油層を作りやすく、地下水流に伴って下流側に移動していく。その動きは、油種によって異なるが、移動速度は水よりも格段に遅い。

一方、揮発性の成分は土中の不飽和層に留まるものもあるが、ベンゼンのように水に溶けるものは地下水に混じりより広い範囲を汚染しやすい。

3. 土壌浄化技術の概要

(1) 浄化技術の区分

土壌・地下水汚染の浄化技術を大別すれば、表一2の通りである。以下、各技術の概要を示す。

表一2 土壌・地下水汚染浄化技術の区分

区分	分類	施設撤去
土壌汚染	掘削後場外搬出・清浄土埋戻し	必要
	掘削後場内処理・処理土埋戻し	必要
	原位置処理	不要
地下水汚染	原位置処理	不要

(a) 掘削後場外搬出・清浄土埋戻し

該当箇所に矢板などを設置した上で、汚染土壌を掘削し場外に搬出して処理する方法。掘削箇所は清浄土を搬入して埋め戻す(写真一1)。



写真一1 清浄土埋戻 (転圧)

搬出先には、土壌浄化工場(加熱乾燥方式、洗浄方式)、最終処分場、セメント工場などがあるが、油分が多い場合は制限を受けることもある。

(b) 掘削後場内処理・処理土埋戻し

敷地が広い場合や近隣に空き地がある場合、前項と同様にして汚染土壌を掘削した後、所定箇所で処理して掘削箇所に埋め戻す方法。

処理方法としては、生石灰混合処理、バイオ処理な

どがある。工期が長くとれる場合には、場内に土壌浄化プラントを設置して加熱乾燥処理や洗浄処理を行うこともできるが、SS向きではない。

(c) 原位置処理

原位置に井戸を設置し、地中から汚染物質をガス吸引または揚水曝気して除外する方法や、井戸から化学酸化剤やバイオ活性剤を注入して油等を分解する方法などがある。地下水循環やエアースパーキングなどの技術を補助技術として併用することもある。

これらの方法は一般に長期間を要するが、施設等を撤去する必要がないために稼働中のSSでも実施が可能である。

(2) 浄化技術の選択

土壌浄化対策は、敷地の利用状況・面積、汚染の種類（土壌・地下水）、汚染の面積・深さ、汚染物質・汚染濃度、工期などにより異なる。

SSに限って見れば、おおよそ表—3のように整理ができる。ただし、鉛が検出された場合には、場外搬出の方法を取らざるを得ない。また、地下水に汚染がある場合は、揚水曝気などを行うこととなる。

表—3 浄化技術の選択（SSの例）

区分	用途	工期	浄化技術
SSを継続			原位置処理
	(部分的かつ掘削可能)		場外搬出
SSを廃止	売却	1ヶ月未満	場外搬出
		半年程度	掘削場内処理
		1年以上	原位置処理
	自己使用	1ヶ月未満	場外搬出
		半年程度	掘削場内処分
		1年以上	原位置処理

4. 油含有土壌の代表的な浄化工法

上記の通り、SSにおける土壌浄化技術には種々のものがある。ここでは、最終処分やセメント原料化を除いた代表的な浄化工法を取り挙げ概説する。実際の現場では、複数の工法を併用することもある。

(1) 加熱乾燥工法（場外搬出・土壌浄化施設）

油含有土壌を掘削して加熱乾燥プラントに持ち込む工法。浄化原理は、油含有土壌を加熱することにより、土壌より油を揮発・分離させ浄化するもの。

作業工程は、油含有土壌の前処理（含水比調整、異物除去）、加熱炉での加熱乾燥（油分の揮発・分離）、揮発成分の二次燃焼処理、排ガスの除塵・排出の順で

進められる。

特長としては、短期間で確実な処理が行える、比較的幅広い油種や油濃度に対応できる、処理後は清浄土として埋め戻しが可能になるなどが挙げられる。

ただし、SSの場合は、工事規模などの理由から専用プラントの設置が困難であるので、既存施設に持ち込むこととなる。

写真—2には、自社開発した加熱乾燥プラントを示す。保有する2基のうち1基は、千葉県袖ヶ浦市地先に常設し使用している。ここには専用のパースがあるため、ある程度の量がまとまれば遠隔地からの船による搬入・搬出も可能である。別の1基は、大型工事用として使用している。



写真—2 加熱乾燥プラント

(2) 生石灰混合法（掘削後場内処理）

油含有土壌を掘削し、場内または近傍の敷地で、油含有土壌と生石灰を混合し、生石灰の水和反応熱により低沸点の油やベンゼンを揮発させ、活性炭などで吸着・回収する工法。

揮発成分を捕捉するために、テント内で作業を行い活性炭で吸着することも多く、その例を写真—3に示す。小規模の場合には、混合箇所光触媒シートを被覆し吸着させることもある。

この工法の特長としては、短期間で処理が行える、混合装置が搬入できれば場内で施工が行える、処理土は埋め戻しが可能であるなどが挙げられる。ただし、土壌は石灰と反応し固化しやすくなるが、アルカリ化するため植栽には不向きといえる。

なお、発熱温度は100℃以下のため、高沸点の重質油などには不向きであり、事前にトリータビリティ試験を行い判定する必要がある。



写真—3 生石灰混合（テント内）

(3) バイオ浄化工法（掘削後場内処理）

油含有土壌を掘削し、場内または近傍の敷地に仮置きし、生息する微生物を活性化させて浄化を行う工法。活性化の方法には、栄養分の供給、生育環境の整備などがある。写真—4には、バイオパイルにおける微生物活性剤の混合状況を示す。

特長としては、簡易で環境に優しく低コストであることが挙げられる。ただし、活性化剤添加量、温度条件、空気供給量（または曝気回数）などを決定する目的で、事前にトリータビリティ試験を行う必要がある。

なお、生物反応を利用するため一般に浄化期間は長い。また、汚染濃度があまりに高い場合には適していない。



写真—4 バイオ活性化剤混合

(4) ガス吸引・揚水曝気工法（原位置処理）

土壌ガス吸引工法は、地下水位より上部の不飽和層より、油臭成分やベンゼンなどを吸引し吸着・回収する工法である。揚水曝気工法は、揚水井戸より汚染地

下水を汲み上げ曝気して揮発成分を除去する工法である。両者を併用することも多く、地下水に油が浮いている場合には、油水分離を行うこともある。

特長としては、装置は比較的小型で自動連続運転が行える、期間は長くなるが稼働中でも施工が行えるなどが挙げられる。写真—5は稼働中SSにおける装置の設置例である。

なお、透気性・透水性の悪い土壌ではガス吸引・地下水揚水ともに効率が悪くなる。



写真—5 揚水曝気装置の設置例

(5) 化学酸化工法（原位置処理）

原位置の井戸から酸化剤等を注入し、地中の油やベンゼンを酸化分解する工法。この反応はフェントン反応としてよく知られており、酸化剤と助剤によって生じたOHラジカルが有機物をCO₂とH₂Oに分解する急速反応である。

特長としては、簡便で反応が早いことが挙げられる。しかし、注入井戸の設置本数や薬剤の到達距離などに



写真—6 酸化剤の注入状況

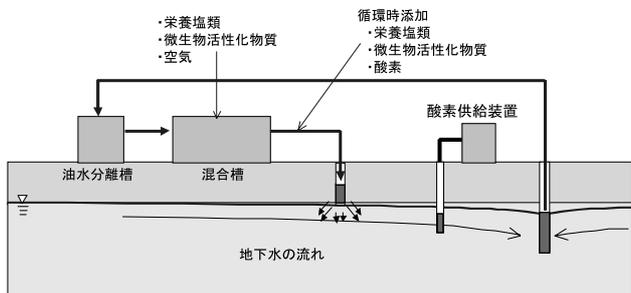
ついて知識が必要であり誰でも行える方法ではない。
 写真—6は、薬剤の注入状況を示す。

(6) 原位置バイオ浄化工法（原位置処理）

地下水に含まれる油やベンゼン等を微生物により分解する工法である。地下の微生物を活性化するため、栄養塩類、微生物活性化物質、酸素などを供給する。

図—2は、そのうち地下水循環方式の概念図で、地下水とともに汲み上げられた地中の油層や油滴は、油水分離槽で除去される。

この工法は、生物反応に依存するため浄化期間は長くなる。また、土中に生息する微生物は場所により異なるので、薬剤の選定などにノウハウが必要である。



図—2 原位置バイオ浄化工法（循環方式）

5. あとがき

油含有土壌の浄化対策の実施は、重金属や揮発性有機化合物に比べると出足が鈍いといえる。しかし、環境省より油汚染対策ガイドラインが発行されたことから、今後は実施に弾みがつくものと予想される。

弊社は、これまでに200件を超えるSSの土壌浄化を行ってきたが、現場条件は多種多様であり、いずれの浄化工法も簡単とは言えない。今後、さらに経験を積み重ねるとともに、簡便・短期間・低コストの工法開発に継続的に務めていく所存である。

本稿が、SS等における油含有土壌の浄化に参考となれば幸いである。

JCMA

[筆者紹介]

羽山 高義 (はやま たかよし)
 (株)NIPPO コーポレーション
 環境事業部長



関野 英男 (せきの ひでお)
 (株)NIPPO コーポレーション
 環境事業部 工務技術グループ



《論文募集中》

日本の道づくりの知と技が交差する日
第27回日本道路会議 開催

- 論文申込受付：平成19年5月14日まで
- 論文提出期限：平成19年6月4日まで

会期：平成19年11月1日（木）～2日（金）
 会場：都市センターホテル（東京都千代田区平河町）
 主催：社団法人日本道路協会

道路、交通、都市計画の分野に携わる人たちが産業、行政、学術の分野を問わず全国から一堂に。時代の変革に応じた広範囲な問題に関わる論文発表や情報交換を通じて次の研究展開やビジネスに拓ける注目の2日間です。

詳しくは、日本道路会議ホームページをご覧ください。
 URL <http://www.road.or.jp/conference/>

社団法人 日本道路協会

〒100-8955 東京都千代田区霞が関3-3-1 尚友会館7F
 Tel. 03 (3581) 2211 Fax. 03 (3581) 2232 E-mail. 27kaigi@road.or.jp 担当：近藤