

土壌浄化技術の開発状況

Current Status of Research and Development in Soil Remediation Technology

栄 藤 徹 藤 田 謹 也 寺 倉 誠 一
荒 井 利 明 荒 岡 衛 上 島 直 幸



大気、水に加え、近年土壌汚染から生活環境を守るニーズが高まりつつある中、2002年の通常国会で“土壌汚染対策法”が成立した。本報では、2001年に米国テラクリン社から油・PCB汚染土壌の浄化対応技術として導入した溶剤抽出システムの概要、及び2001年より開始した本技術によるPCB汚染土壌浄化実証研究の状況報告を中心に、弊社の土壌浄化技術と取組み状況の概要を紹介する。

1. はじめに

土壌は水、大気とともに環境を構成する重要な要素であり、人をはじめとする生物の基盤、物質循環の要として重要な役割を担っている。土壌が汚染されると、それによって汚染された地下水の飲用や、そこで育てられた農作物の摂取、その土壌を直接摂取すること等により、人の健康に影響を及ぼす可能性がある。そのため、平成3年には公害対策基本法（現環境基本法）により土壌環境基準が制定されている。人の健康を保護し生活環境を保全するためには、土壌汚染の未然防止と早期処置が肝要であるが、土壌が水や空気と違い私有物であることから、汚染の浄化対策にかかわる法制度化は遅れていた。

ところが、欧米での相継ぐ法制度化の流れ、及び我が国でも工場閉鎖に伴う跡地の再開発・売却時の調査で多くの土壌汚染が存在することが分かってきたこと等から、社会的ニーズの高まりを受け、平成14年5月22日に土壌汚染対策法が国会で可決され、5月29日に公布された。今後秋頃までに技術基準等詳細を定めた政・省令を審議し、平成15年1月に施行される予定である。本法律では、水質汚濁防止法の特定施設に指定されている工場が閉鎖された場合等に、土地の所有者等に調査を義務付け、汚染が発見された場合は対策も行うこととなっている。

一方、法制度とは別に、最近の情報公開、ISO14000シリーズの普及・浸透、リスクマネジメントからの要求といった一連の社会動向を受け、企業の土壌環境に対する自主的な動きも出てきており、大企業においては、売買時のみではなく操業中の工場の調査・対策も自主的に行われるようになってきている。

弊社では、平成8年に揮発性有機化合物汚染土壌の浄化を実施したことを皮切りに、米国テラクリン社より溶剤抽出による油・PCB汚染土壌浄化技術の導入、また、独国テッ

クトレード社との技術提携で低温加熱型キルンによるVOC・油・ダイオキシン等の汚染土壌の熱処理技術も実用化しており、調査分析から対策、環境モニタリングまでの一貫体制を整え、土壌浄化事業への本格的な取組みを開始している。

2. 土壌浄化事業への取組

土壌汚染浄化は、排ガス処理や排水処理のように工場などから定常的に出てくる汚染物質を処理することではなく、目の前にある土壌中の汚染物質を取り除くことが目的になるため、浄化装置の販売とは違い、浄化すること自体を商品とするサービス事業である。本事業では一般に図1のようなフローで浄化対策が進められている。

資料等調査

調査の契機としては法律により定められた工場の移転等の場合とISO14000シリーズの環境管理プログラム等による自主的な場合があるが、いずれの場合も最初に過去の資料調査や聞き取りによる履歴調査を行い、汚染対象物質や汚染範囲を推定する。

概況調査

資料等調査に基づき、表層土壌のサンプリング及び分析等を行い実際の汚染の概況を調査する。

詳細調査

概況調査に基づいた汚染場所を中心に、ボーリングによるサンプリング調査や地下水の分析調査を行い三次元

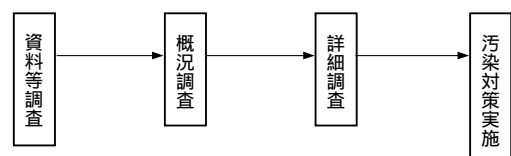


図1 土壌汚染対策フロー

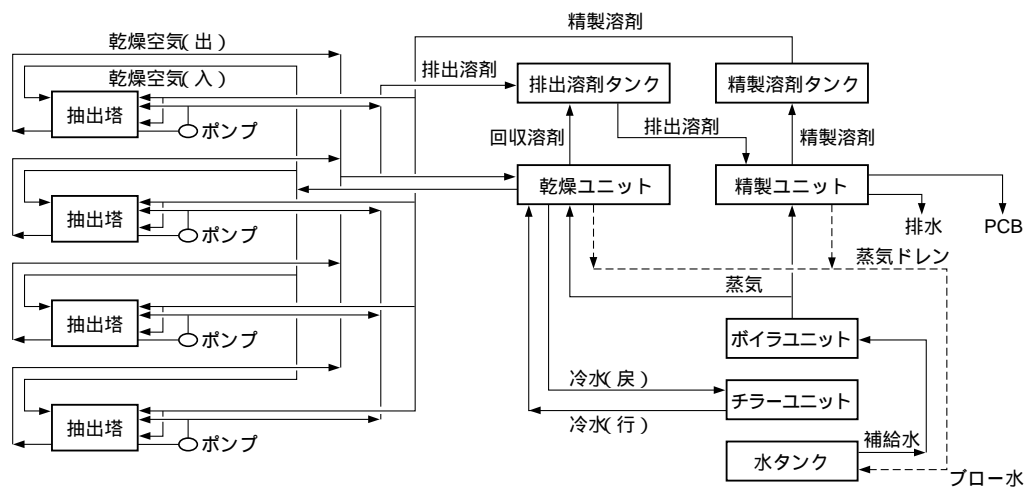


図2 PCB汚染土壌浄化フロー

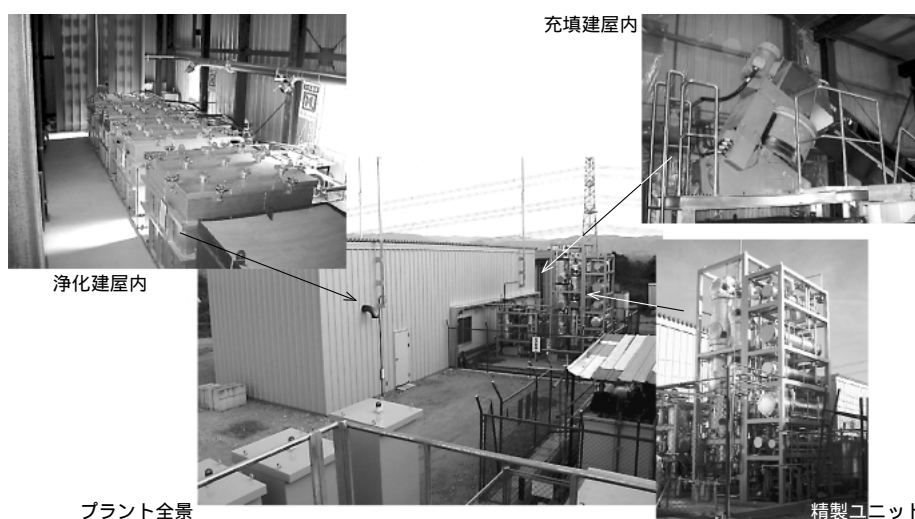


図3 PCB汚染土壌浄化プラント

的に汚染の状況を確認，汚染マップを作成する。
汚染対策実施

汚染の状態に合わせて各種対策工事を行う。平成15年1月に施行が予定されている土壌汚染対策法では，汚染の状況によっては，浄化だけでなく汚染地域の立入り禁止等の対策も認められる予定。

弊社では上記の資料等調査から④の汚染対策実施まで一貫した対応ができる体制を整えており，例えば分析分野ではこれまでも研究所で各種環境分析を行っており，ダイオキシンやPCB等の浄化対象汚染物を高精度で分析可能である。またサンプリング装置としては工期の大幅な短縮に寄与する自走式ボーリングマシンを保有し，土壌の深さ方向のサンプリングも迅速に対応可能としている。また，浄化処理技術に関してはこれまで開発，製品化してきた各種環境対策技術や外部からの導入技術を利用し，規制や土壌への適用化を図り順次実用化している。主な土壌浄化技術として次のようなシステムを有している。

(1) 土壌ガス吸引浄化システム：VOC（揮発性有機化合物）に汚染された土壌を掘削し，吸引ブロウを用いて汚染物質

を揮発させ活性炭で吸着除去する方式。

(2) 地下水揚水浄化システム：VOCに汚染された地下水を揚水し活性炭塔に通水して吸着除去する方式。

(3) 溶剤抽出システム：油・PCB，ダイオキシン類に汚染された土壌より，溶剤によって汚染物質を抽出分離する方式。

(4) 低温加熱システム：キルンによりVOC，低沸点重金属（水銀等），油類，ダイオキシン類に汚染された土壌を低温加熱（300～600℃）し，汚染物質を分離，浄化する方式。

(5) 高温加熱システム：キルンにより高沸点重金属類（鉛，カドミウム，砒素等）により汚染された土壌を高温で加熱（500～1100℃）し，汚染物質を分離，浄化する方式。

本稿では，これら技術のうち，最近その処理が注目されているPCBに関し，溶剤抽出法を詳説する。

3. 油・PCB汚染土壌浄化システム

3.1 溶剤抽出システムの概要

本処理システムは，油・PCB等の汚染物質を多量の土壌から安全にかつ確実に抽出分離するものである。本処理技術のシステムフローを図2に，配置例を図3に示す。

本処理システムは、汚染土壌を浄化、抽出分離した溶剤の精製及び浄化後の土壌中から溶剤を吸引回収する乾燥の3つのシステムから構成されている。

土壌の浄化システムは、汚染土壌を投入する抽出塔、洗浄溶剤を貯溜する精製溶剤タンク及び洗浄後の溶剤を貯溜する未精製溶剤タンクから成る。掘削した汚染土壌を抽出塔に投入し、精製溶剤タンクから洗浄溶剤を注入する。しばらく抽出塔内で汚染土壌を溶剤に浸漬させることで、汚染物質を抽出分離する。抽出分離後の溶剤は、抽出塔から排出し未精製溶剤タンクに貯溜する。この操作を繰り返すことで汚染土壌は徐々に浄化され、最終的に埋戻し可能な状態まで浄化が行われる。

溶剤の精製システムは、フィルタ及び精製ユニットから構成され、汚染物質を含んだ未精製溶剤から汚染物質と溶剤を分離し、汚染物質が分離された精製溶剤は精製溶剤タンクに送り再利用する。一方、分離除去された汚染物質は、濃縮し別途処分する。なお、PCB汚染土壌のオンサイト処理が必要な場合は、別途分解設備との組み合わせも可能である。

土壌の乾燥システムは、ブロワ、加熱ユニット及び凝縮ユニットから構成される。加熱ユニットで加熱された空気あるいは蒸気を抽出塔に送り、抽出塔内に残留した溶剤を気化させる。気化した溶剤をブロワで抽出塔から吸引除去し、凝縮ユニットで冷却し溶剤を回収するシステムである。処理後の土壌は、再生土として埋戻しが可能である。

本システムは土壌浄化の先進国である米国で多数の実績を有し、EPA（アメリカ環境保護局）の認証を受けた技術である。本システムは、溶剤の選定により、農薬、ダイオキシン類の分離へ展開が図れる。

3.2 溶剤抽出システムの特徴

本処理システムの特徴を安全性及び装置の面から述べる。

(1) 安全性

溶剤により、常温・常圧で汚染物質を土壌から分離するため、土壌自体は変性せず、再生土として埋戻しが可能である。

化学的に安定した溶剤を使用しており、熱・化学反応によりダイオキシン類等非意図的な有害物質の生成リスクがない。

また、クローズド処理のため、排ガス等のエミッションによる二次汚染の心配がない。

汚染物質を含んだ使用後の溶剤を精製して再利用するため、溶剤のロスとはほとんどない。また、無害な溶剤を選定するため、安全に土壌を浄化することができる。

さらには、抽出塔ごとにバッチ処理するため、抽出塔単位で浄化を確認するロット管理が可能である。

(2) 装置

本システムは、可動部がほとんどなく、機器トラブルが少ないシンプルな設備で経済性にも優れている。

加えて、ユニット化が可能のため、汚染サイトにおけるオンサイト処理に対応できる。特にPCB汚染土壌については、その保管・管理に多大なコストを要するが、本システムを使ったオンサイト処理により、汚染物質を安全かつ

安価に抽出分離することが可能である。

抽出したPCBは、PCB特別措置法で今後設置が予定されている広域処理センタへ持込み最終処分が可能である。

3.3 PCB汚染土壌浄化実証試験の状況

2001年5月に神戸市北区でトランスの不法投棄が発見され、これから漏れたPCBにより汚染された土壌について、神戸市、国立環境研究所及び弊社の三者で、PCB汚染土壌の浄化に関する研究を昨年10月から開始し、基礎試験、現地浄化処理試験（本年8月より開始）の順に取り進めている。本報では先に実施した基礎試験の結果について記述する。

この研究は、オンサイトのPCB汚染土壌浄化の国内初の取組みとなるため、現地での処理に先立ち、実汚染土を用いてラボ試験装置により、図4に示す概略処理フローの各エミッションポイントにおけるPCB濃度を分析し、処理システムの性能及び安全性の事前確認を行う基礎試験を実施した。

結果を表1、図5に示す。表1 No. 1及び2のとおり実汚染土壌にて浄化性能を確認し、確実に土壌環境基準以下となることを検証した。図5に示すとおり、抽出回数による土壌中残留PCB濃度を確認したため、汚染濃度に応じた最適な抽出回数を計画可能となった。また、表1 No. 3のとおり、土壌中の含有水分が脱水、排出された分離水についても確認を実施した。活性炭を用いて分離水を浄化することにより、PCB濃度が排水基準以下となることを確認した。このため、分離水を土壌に散布することも可能である。表1 No. 5のとおり、タンクベントに関しては、活性炭フィルタで高度処理を行うことにより、ベントのPCB濃度が排出基準以下であることを確認した。これらにより、本システムから系外に排

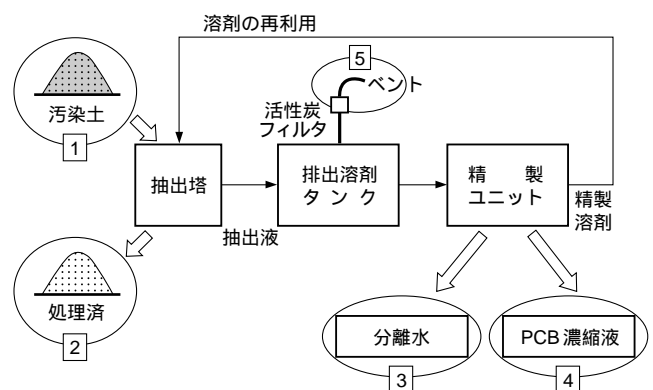


図4 概略処理フロー

表1 基礎試験結果

No.	項目	PCB分析データ	備考
1	汚染土壌	含有濃度 118 mg / kg 土壌	現地で採取（平均濃度）
2	処理済土壌	溶出濃度 検出されず	土壌環境基準 （不検出）をクリア
3	分離水	含有濃度 0.0005 ~ 0.0023 mg / L	汚染土壌から分離された水排出基準 （0.003 mg / L）以下
4	PCB濃縮液	含有濃度 18 wt %	
5	溶剤タンクベント	0.05 µg / m ³ N	排出基準 （150 µg / m ³ N）

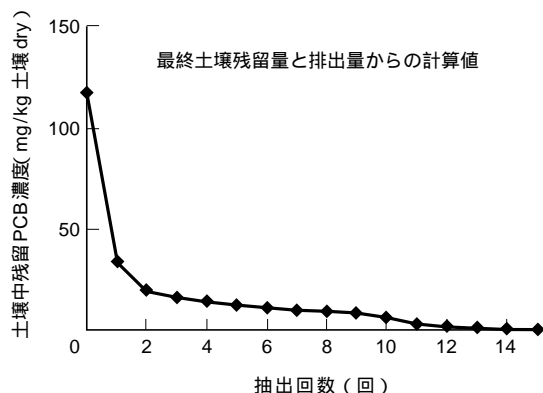


図5 抽出試験結果

表2 テラクリーン社 ダイオキシン類処理実績

浄化前平均値と浄化後平均値の比較

周族体	浄化前	浄化後	浄化率
Unit	pg/g	pg/g	
2, 3, 7, 8 TCDD (Dioxin)	1	0	
Tetrachlorodibenzodioxin (Total)	22	2	
Pentachlorodibenzodioxin (Total)	21	5	
Hexachlorodibenzodioxin (Total)	119	25	
Heptachlorodibenzodioxin (Total)	378	134	
Octachlorodibenzodioxin	3503	3468	
2, 3, 7, 8 TCDF (Dibenzofuran)	1672	9	
Tetrachlorodibenzofuran (Total)	7808	58	
Pentachlorodibenzofuran (Total)	5237	91	
Hexachlorodibenzofuran (Total)	2199	113	
Heptachlorodibenzofuran (Total)	770	71	
Octachlorodibenzofuran	541	53	
TEQ Toxicity Equivalent Value)	744	15	98%

プロジェクト/サイト名：米国カロライナ
トランス工場跡地スーパーファンドサイト

出される物質による2次汚染の心配は無く、安全に処理できることが検証できた。

今後は、現地で実汚染土壌の浄化を行うことで、実処理ノウハウの蓄積、安全管理基準の確立、処理工事要領の確立を実施する予定としている。

4 今後の取組

弊社ではこれまで述べた、VOC、油、PCBといった汚染物質のほかにも重金属、ダイオキシンによる汚染土壌浄化技術の開発にも取り組んでいる。

重金属類の汚染土壌はVOC汚染土壌に比べ汚染が拡散しにくいことより、現状廃棄物処分場への持込みや固定化、不溶化にて処理されることが多い。これらの処理方式は、前者は廃棄物処分場の逼迫、後者は跡地利用に制約を生じるなど、今後は汚染土から重金属類を分離する技術が望まれる。本対応としては水洗浄が現在の主流である。本技術は汚染土を水によりスラリー化の後、遠心分離にて粗粒子と細粒子に分け

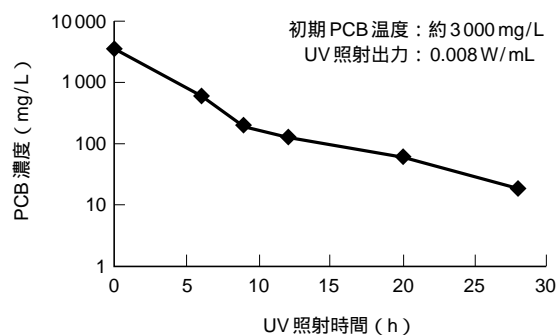


図6 PCB抽出液のUV分解試験結果

るものであり、重金属が比較的細粒子に偏在しているという性質を利用した分離技術である。しかし日本のように土粒子が比較的細かい場合には、重金属とともに分離される土量が多くなり、廃棄物の量あまり削減できない。弊社では細かい土壌に付着した重金属を強制的に分離する技術を開発中である。

焼却場の解体等に伴い焼却炉周りのダイオキシン汚染土壌の浄化ニーズも高まりつつある。前述した溶剤抽出技術導入先のテラクリーン社は、米国内で表2に示すダイオキシンに対する浄化実績を保有しているため、現在弊社でも本技術の有効性の確認基礎試験を実施中である。

一方、処理現場での廃棄物量を極力削減できるよう、PCBに関し前述の溶剤抽出により分離されたものを、現地で分解処理する技術の開発も行っている。3.3節で述べた基礎試験にて抽出分離したPCBについて、UV*（紫外線）による分解基礎試験を実施し、その有効性を確認している。確認結果を図6に示す。

土壌汚染はいうまでもなく、これまで述べてきた汚染物質が単一で存在するわけではなく、これらの汚染物質による複合汚染であることが多い。したがって、弊社では各々に有効な技術をその汚染状況により最適化し提供できるよう、開発技術の総合的なシステム化にも取り組む予定である。

* Ultraviolet rays



栄藤 徹
神戸造船所
環境プラント部主任



藤田 謹也
神戸造船所
環境プラント部
環境プラント設計課長



寺倉 誠一
神戸造船所
環境プラント部
環境プラント設計課



荒井 利明
神戸造船所
環境プラント部
営業課主席



荒岡 衛
横浜製作所
環境装置技術部
機械設計課主席



上島 直幸
技術本部
高砂研究所
化学研究室長