

平成17年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査対策技術検討調査
及びダイオキシン類汚染土壤浄化技術等確立調査結果

代表機関名		技術の名称	
三菱重工業株式会社		溶剤抽出法	
技術の概要			
調査/対策	対策技術の方式	実証試験の対象物質	実証試験の場所
対策	洗浄分離	ポリ塩化ビフェニール (PCB)	現場外
<p>(技術の原理)</p> <p>溶剤抽出法は、PCB 汚染土壤中の PCB を溶剤により抽出して浄化する方法である。PCB 汚染土壤を抽出塔に充填し、溶剤を注入して浸漬させ、汚染物質を土壤から抽出した後、溶剤を排出する操作を繰り返すことにより浄化目標まで土壤を浄化する。PCB を含む溶剤(排出溶剤)は溶剤精製設備で精製し、洗浄溶剤として汚染土壤の洗浄に再利用し、分離した PCB は濃縮し別途処分する。浄化土壤に残留する溶剤は蒸気等で気化させることにより回収し、再利用する。</p>			
<p style="text-align: center;">: サンプルングポイント</p> <p style="text-align: center;">処理フローの概略図</p>			
技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方			
<p>溶剤抽出法は、汚染土壤を加熱や加圧することなく浄化でき、排ガスの発生がなく、また汚泥等の二次廃棄物の発生がない点からみて、周辺環境に与える影響が少ない安全な技術である。</p> <p>土壤の前処理や洗浄溶剤の最適化によって洗浄効率を向上させ、洗浄回数を低減し、対策期間を短縮化することにより低コスト化および低環境負荷を図る。</p>			
調査結果の概要			
<p>(1) 処理量 12.048kg</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>試験の目的</p> <p>溶剤抽出法の経済性及び周辺環境に与える影響等を評価するため溶剤抽出試験を実施する。</p> <p>本実証調査では、土質や土壤粒径、含水率、油分等の個別の影響因子を評価するため、市販の関東ロームや真砂土に PCB 標準試薬等を添加した模擬土壤を使用する他、実汚染土壤を使用している。</p>			

試験条件

各 Run の処理条件は室温 () 洗浄回数 (10 回) を一定にして、影響因子を評価するために下表の試験条件で溶剤抽出試験を実施した。尚、溶剤注入から浸漬、排出までの洗浄 1 回あたりの時間は 4 時間である。

Run	土壌処理量	試料土壌 (PCB 濃度)	溶剤種
Run1	0.435kg	関東ローム + KC400 (100mg/kg)	ケトン系溶剤
Run2	0.499kg	関東ローム + 砂 + KC400 (91mg/kg)	ケトン系溶剤
Run3	0.922kg	真砂土 + KC400 (110mg/kg)	ケトン系溶剤
Run4	0.997kg	真砂土 + 砂 + KC400 (110mg/kg)	ケトン系溶剤
Run5	0.823kg	実汚染土壌 (4,600mg/kg)	ケトン系溶剤
Run6	0.836kg	実汚染土壌 + 風乾処理(4,600mg/kg)	ケトン系溶剤
Run7	0.931kg	実汚染土壌 + 水分添加(4,600mg/kg)	ケトン系溶剤
Run8	0.438kg	関東ローム + KC600 (120mg/kg)	ケトン系溶剤
Run9	0.922kg	真砂土 + KC600 (110mg/kg)	ケトン系溶剤
Run10	0.438kg	関東ローム + KC400 (210mg/kg)	ケトン系溶剤
Run11	0.442kg	関東ローム + KC400 (390mg/kg)	ケトン系溶剤
Run12	0.922kg	真砂土 + KC400 (230mg/kg)	ケトン系溶剤
Run13	0.922kg	真砂土 + KC400 (350mg/kg)	ケトン系溶剤
Run14	0.849kg	実汚染土壌 + 油添加 (4,600mg/kg)	ケトン系溶剤
Run15	0.823kg	実汚染土壌 (4,600mg/kg)	アルコール系溶剤
Run16	0.849kg	実汚染土壌 + 油添加 (4,600mg/kg)	アルコール系溶剤

KC400 : 4 塩素化物主体の PCB であるカネクロール 400 の略称

KC600 : 6 塩素化物主体の PCB であるカネクロール 600 の略称

(3) 有効性についての考察

除去率

土壌中の PCB 含有量及びダイオキシン類 (DXNs) 含有量ベースでの除去率は下表のとおりであった。

項目	汚染土壌	処理後土壌	除去率 (%)
PCB 濃度	0 [<0.0005] ~ 0.060(mg/L)	0 [<0.0005] (mg/L)	-
PCB 濃度	91 ~ 4,600 (mg/kg)	0.17 ~ 50 (mg/kg)	98.2 ~ 99.9%
DXNs 濃度	800 ~ 100,000 (pg-TEQ/g)	5.0 ~ 1,600 (pg-TEQ/g)	98.4 ~ 99.8%

(注) 検出値が定量下限値未満の場合には 0 と先に記載し、定量下限値を [] 内に記載している。

なお、除去率は、カラム試験処理前後の含有量ベースの PCB、DXNs 濃度から、以下に示す式により求めた。

$$\text{除去率 (\%)} = [100 - (\text{カラム試験処理後土壌中の PCB} \cdot \text{DXNs 濃度}) \div (\text{カラム試験汚染土壌 (処理前) 中の PCB} \cdot \text{DXNs 濃度}) \times 100]$$

本実証調査はカラム試験装置を用いた溶剤抽出による実証試験であり、無害化まで実施して

いないため、処理プロセス全体としての分解率は、土壌からの除去率で評価するものとする。
 なお、溶剤抽出法は常温・常圧処理であり、副産物、排ガスが発生しないシステムである。
 本実証試験の結果から以下の項目を確認した。

A) 土質・土壌粒径評価

・土質・土壌粒径は、洗浄効率に影響を与えた。

B) 土壌含水率・PCB 種類・濃度評価

・含水率は低い方が、洗浄効率が良くなる傾向にあった。

・PCB 種類 (KC400、KC600) は、洗浄効率に影響はなかった。

・土壌中の PCB 濃度によって洗浄効率に差があった。(濃度が低ければ、洗浄回数が少なくて済む。洗浄回数が増減で対応可能。)

C) 土壌中油分評価

・アルコール系溶剤よりケトン系溶剤の方が油の影響を受けにくかった。

洗浄効率とは、洗浄回数 1 回目ないし 2 回目までの土壌中の PCB 含有量の減少率を表す。

(4) 経済性等についての考察

実用性

溶剤抽出法は 5 件、累計 2,000 トン超の PCB 汚染土壌を処理し、安定性、安全性を確認し、既に実用化されている。

安定性

・本実証試験の期間、溶剤抽出試験において、洗浄塔内に充填された試料土壌への洗浄溶剤注入および排出は問題なく行われた。

・充填土壌の目詰まり等の不具合は認められず、溶剤抽出法の適用が可能であることを確認した。

安全性

・PCB 汚染土壌を抽出容器に充填する充填建屋内の作業環境測定結果が A 測定：0.050mg/m³、B 測定：0.076mg/m³ であり、労働安全衛生法の規定に基づく作業環境基準で定める PCB の基準値：0.1mg/m³ を満足しているなど、実処理工事で得られた環境モニタリングの結果を用いて、安全性について確認した。

経済性

効率性

試料土壌を 1 試験につき約 0.6 リットル(約 1kg)を洗浄塔に充填し、溶剤抽出処理した。

本実証調査はラボスケールの処理試験であるため、効率性を評価することは困難である。

なお、参考として、実証調査規模及び実規模における効率性を以下のとおり評価した。

	実規模での効率性	実証調査規模での効率性 (参考値扱い)
エネルギー効率 (MJ/kg-土壌)	約7.9	0
作業効率 (kg-土壌/人・h)	約48	約0.03

土壌からPCBを抽出するために投じた電気・熱エネルギーはゼロである。

経済性

実証試験では、ラボ試験規模であるため16条件の試験における合計の処理土壌量が約12kgと少なかったため、土壌1kg当たりの処理単価でみると約200万円/kgであった。

参考として、実規模での処理（処理土壌10,000 t）を想定し、その処理費用を試算した結果は約98千円/t-土壌（分離PCBの無害化処理費含む）であった（別紙参照）。

（5）周辺環境への負荷

本実証調査は室内試験であり、ドラフト内で実施したため環境モニタリングは実施できなかった。なお、参考として、実処理工事で得られた環境モニタリングの結果等で補完して、環境影響（周辺環境）について評価した結果を以下に示す。

充填建屋の排気

充填建屋の排気中の PCB 濃度は、HEPA フィルター + バグフィルター + 活性炭フィルター処理後 0.0000069mg/m³N であり、昭和 47 年 12 月 22 日環大企第 141 号で示されている排ガス中の PCB の暫定排出許容限界（ 0.15mg/m³）以下であった。

水質及び汚泥

プロセスから発生する分離水は活性炭処理後、PCB 濃度は 0[<0.0005]mg/L であり、水質汚濁に係る環境基準（<0.0005mg/L）以下であった。土壌から抽出される水分は蒸留されるため、排水処理工程から二次廃棄物として汚泥は発生しない。

溶剤抽出法は汚染土壌を加熱や加圧することなく浄化でき、副産物や排ガスの発生もない。

二酸化炭素排出量

エネルギー使用量等から求めた本技術の二酸化炭素排出量は土壌 1t 当たり約 200kg-CO₂/t であった（別紙参照）。

検討会概評

既の実機での実績があることを前提として、本実証事業においては実験室内でのカラム試験のみを実施した。

調査結果から、異なる土壌や条件における適用可能性と、それらへの対応方法に関する知見が得られている。今回試験は実機スケールではなかったが、本技術が溶剤を用いた静的バッチ抽出である特性を考慮すれば、本技術をこれら本実証調査で検討した試料や条件に対して実機レベルでの適用は可能であると考えられ、また、その際の処理方針に対しても一定の知見が得られたものと評価できる。

別紙（溶剤抽出法）

費用の算出

実証対象技術のコストについて

【実規模の経済性】(参考値)

- ・ 実証規模 土壌 1kg あたりの費用 約 200 万円 / kg
- ・ 実規模 土壌 1t あたりの費用 約 98 千円 / t

[試算条件]

実証試験

総処理量：12.048kg、運転時間：360 時間、ランニングコスト：7,214,200 円、
設備設置に係るコスト：0 円、モニタリング経費：18,159,600 円

実規模

総処理量：10,000t、処理前 PCB 含有量：100mg/kg

処理日数：約 1.8 年（432 日）、稼働日数：240 日/年、運転時間：24 時間/日

平均処理量：23.1t/日

設備設置に係るコスト：16.1 千円 / t

ランニングコスト（水光熱費、資器材費、薬剤費、人件費等）：45.8 千円 / t

モニタリング経費：9.1 千円 / t

分離 PCB の無害化処理費用 0.4 千円 / t

その他費用：26.6 千円 / t

CO₂ の排出量の算出

実証対象技術の炭酸ガス排出量について

炭酸ガス排出量計算にあたっては、以下のような条件を前提に計算を行った。

対象となる汚染土壌の量	10,000 t
処理日数	432 日

- ・ 総排出量 : 約 2,000t-CO₂
- ・ 単位土壌あたり排出量 : 約 200kg-CO₂/t

【CO₂ 排出量試算根拠】(処理土壌量：10,000 トンの場合)

灯油由来

灯油消費量：1,609t、CO₂ 換算係数：0.849t-CO₂/t-灯油

CO₂ 排出量 = 1,609t × 0.849t-CO₂/t-灯油 1,366t-CO₂

軽油由来

軽油消費量：107t、CO₂ 換算係数：0.840t-CO₂/t-軽油

CO₂ 排出量 = 107t × 0.840t-CO₂/t-軽油 90t-CO₂

電気由来

電気消費量：1,479MWh、CO₂ 換算係数：0.378t-CO₂/MWh

CO₂ 排出量 = 1,479t × 0.378t-CO₂/MWh 559t-CO₂

総排出量 = 1,366t-CO₂ + 90t-CO₂ + 559t-CO₂ = 2,015t-CO₂

約 2,000t-CO₂

単位土壌 = 2,000t-CO₂ ÷ 10,000t-土壌 = 0.2t-CO₂/t = 200kg-CO₂/t