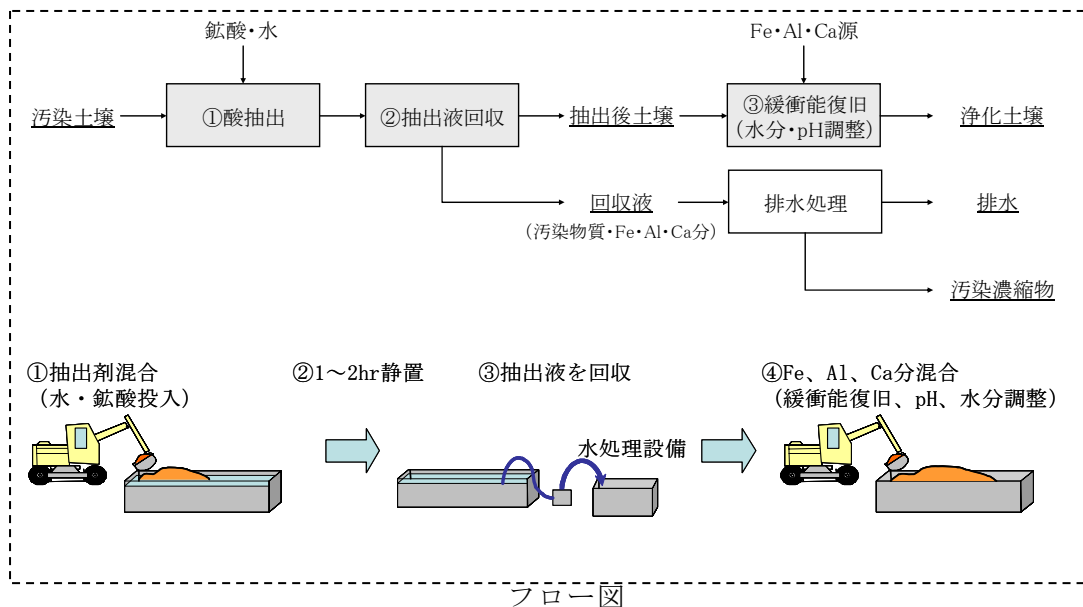


# 平成19年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査・対策技術検討調査 及びダイオキシン類汚染土壤浄化技術等確立調査結果

代表機関名		技術の名称	
DOWA エコシステム(株)		重金属汚染土壤の簡易酸抽出処理法	
技術の概要			
調査／対策	技術の区分	実証試験の対象物質	実証試験の場所
対策	化学分離	砒素・鉛・ふっ素	現場外

**(技術の原理)**

本技術は重金属汚染土壤中の有害な重金属（砒素、鉛、カドミウム、六価クロム、ふっ素等）を鉍酸にて抽出した後、同時に抽出されてしまう土壤中の有用成分（カルシウム、鉄、アルミニウム分）を抽出後土壤に添加することにより、損なわれた土壤の緩衝能を復旧するとともに、酸性化した土壤の pH 調整および水分調整を同時に行い、浄化土壤を得る技術である。



### 技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方

- コストについて以下を以って低減する。
  - ① 構成装置は汎用土木機械・仮設機器であり、特殊な設備を用いない。
  - ② 設備仮設にあたって、装置設置基礎、電源等のユーティリティーは簡易で、機材調達も平易であり、設備設置費用が低い。
  - ③ 静置抽出としており、攪拌抽出のように連続的に動力を用いる必要がなく、固液分離でも脱水機を用いないため、エネルギーコストが安価となる。
  - ④ 固液比を高くして水量を減じ、水処理負荷を軽減させる。
  - ⑤ 溶媒濃度を上げて抽出効率を向上させることで、薬剤費を低減する。
- 環境負荷について以下を以って低減する。
  - ① 湿式処理により、粉じん発生量を軽減する。
  - ② 酸性ガスの発生のおそれのある作業時はスクラバーを運転する。
  - ③ 振動・騒音の発生源としては重機（バックホウ）、発電機のみであり、大型の特殊機械を使用しない。

## 調査結果の概要

### (1) 実証調査方法

#### ①実証調査条件

抽出回数については、評価試験(室内試験)を実施して処理条件(酸添加量、抽出回数、有用成分添加量)を見積もり、実証時に回収液の簡易分析をして処理状況を確認して最終決定した。調査条件を下表に示す。

表 1 調査条件

項目		試料土壌 1	試料土壌 2	試料土壌 3
処理量		10.1t	10t	10.1t
土壌汚染の由来		砒素・鉛含有塗膜片飛散により汚染	鉄鋼スラグからふっ素溶出により汚染	鉛片の飛散・溶出により汚染
汚染濃度 (超過項目のみ)		砒素溶出 0.054mg/L 鉛含有 230mg/kg	ふっ素溶出 4.7mg/L	鉛含有 160mg/kg
土質・色		砂混じりシルト・焦茶	ローム・黄土	黒ボク・黒
抽出回数		1回	3回	1回
薬剤 添加 量	塩酸	1,000kg	1,000kg	1,000kg
	生石灰	210kg	210kg	300kg
	炭酸カルシウム	210kg	0	210kg
	ポリ硫酸第二鉄	100kg	100kg	100kg
	ポリ塩化アルミニウム	100kg	100kg	100kg

#### ②モニタリング方法

(処理状況の評価)

処理前土壌、抽出後土壌、処理完了後土壌(有用成分混合後)についてそれぞれ3検体ずつ試料採取し、各汚染項目の含有量・溶出量を公定法にて、また、有用成分の含有量を底質調査法にてそれぞれ分析した。さらに、各回収液について、回収量を計測し、汚染物質および有用成分の濃度分析を実施した。

(環境モニタリング)

- ・粉じん濃度について、ハイボリュームエアサンプラーを用い、調査期間中2回(バックグラウンド測定、調査工事実施中測定)作業エリア境界にて測定した。また、粉じんの発生のおそれのあるバックホウによる混合作業時は、簡易測定器にて同濃度を測定した。
- ・本調査では抽出剤として塩酸を用いた。塩化水素ガス濃度について、検知管を用い、塩酸ミストの発生のおそれのある塩酸投入作業時に作業エリア境界にて濃度を測定した。
- ・振動・騒音について、発生源であるバックホウより3、10、30m地点でそれぞれ測定した。

### (2) 有効性についての考察

#### ①鉛含有量の低減効果について

今回の試料土壌1および3の処理前、抽出後の鉛含有量と除去率を表2に示す。抽出工程による鉛含有量の除去率は約18.0%、有用成分の添加による希釈および安定化効果により工程全体での鉛の見かけ上の除去率はそれぞれ37.2%および33.3%であり、指定基準以下まで低減した。

#### ②溶出量の低減効果について

各試料土壌の処理前土壌、処理完了後土壌の溶出試験結果、ならびに各汚染物質の長期安定性を評価するため実施した酸・アルカリ添加溶出試験の結果を表3に示す。試料土壌1お

よび2はそれぞれ砒素およびふっ素の溶出量が超過していたが、抽出による可溶分の低減と、抽出工程で損なわれた有用成分の添加により、それぞれ指定基準以下まで低減した。各汚染物質の安定性について、砒素は酸・アルカリに対して安定であり、ふっ素は酸に対しては安定であったものの、アルカリに対しては安定せず、指定基準を満たさなかった。

表2 各試料土壌の抽出処理前後の鉛含有量除去率

試料	試料土壌 1	試料土壌 3
汚染項目	鉛	鉛
処理前含有量[mg/kg]	223	150
抽出後含有量[mg/kg]	183	123
処理完了後含有量[mg/kg]	140	100
抽出工程除去率[%]	17.9	18.0
全工程除去率[%]	37.2	33.3
<参考> 指定基準	150	150

表3 溶出量低減効果と酸・アルカリ添加溶出試験の結果

工程	分析方法	試料土壌 1		試料土壌 2	
		砒素[mg/L]	pH	ふっ素[mg/L]	pH
処理前	環告 18 号	0.049	8.9	4.5	7.1
	酸添加溶出	0.037	7.9	3.6	5.7
	アルカリ添加溶出	0.048	9.9	10.6	9.3
処理完了後	環告 18 号	0.001	7.4	0.1	6.8
	酸添加溶出	0.003	7.4	0.1	7.2
	アルカリ添加溶出	0.002	7.5	1.8	8.2
<参考> 指定基準		0.01	—	0.8	—

### ③汚染物質の結合形態

各試料土壌の処理前後の汚染物質の形態変化について Tessier の逐次抽出法による分析結果を表4に示す。鉛は結合形態に関わらず低減傾向で、最も溶出し難い残渣態も減少している。この理由として、残渣態の中に無機の鉛が多く存在し、酸抽出により有効に浄化できたことが考えられる。砒素は処理前からほとんどが残渣態だがその減少率は小さい。ふっ素は処理前に残渣態以外の結合形態の比率が高く、これらが処理後減少しており、酸抽出により溶出が抑制されたことを示している一方、残渣態の減少は確認できなかった。

表4 Tessier の逐次抽出法による分析結果 [mg/kg]

結合形態	抽出方法概略	試料土壌1				試料土壌2		試料土壌3	
		鉛 処理前	鉛 処理 完了後	砒素 処理前	砒素 処理 完了後	ふっ素 処理前	ふっ素 処理 完了後	鉛 処理前	鉛 処理 完了後
交換態	1M酢酸ナトリウム抽出 (pH8.2)	< 1	< 1	1	< 1	43	7	1	< 1
炭酸塩結合態	1M酢酸ナトリウム抽出 (酢酸にて pH 5.0調整)	57	49	1	1	31	13	12	5
鉄-マンガン結合態	25%酢酸中で0.04M水酸化アンモニウム・塩酸により抽出	22	17	5	7	60	20	80	34
有機結合態	酸化分解後、20%硝酸中で3.2M酢酸アンモニウムにより抽出	2	3	2	2	12	4	88	32
残渣態	底質調査法による	230	150	53	46	270	280	140	96
合計		312	219	62	56	416	324	321	167

### (3) 実用性についての考察

#### ①安定性

トラブルとして、寒冷地での施工となったため水配管およびポンプ凍結が各1回(中断時間4時間)あったが、他のトラブルはなかった。

#### ②安全性

本工法の作業環境・周辺環境への影響を把握するため、粉じん、塩化水素、振動・騒音の測定を行ったが、以下に示すとおりいずれも特に問題はなかった。なお、塩酸投入作業中も塩化水素は不検出であった。

### (4) 経済性についての考察

#### ①効率性

本実証調査における汚染土壌1kgあたりの投入エネルギー効率は0.157MJ/kgであった。

また、作業効率は2,813kg/人・hであった。

#### ②経済性

本実証調査における汚染土壌1tあたりの処理費用は148,000円/tであった。

汚染土壌10,000tの処理を仮定した場合の処理費用は、1回抽出の場合13,200円/t、2回抽出の場合17,200円/t、3回抽出の場合21,600円/tと算出された。(算出根拠は別紙参照)

### (5) 周辺環境への負荷

#### ①環境大気

粉じんは、0.1mg/m<sup>3</sup>を超える値はなく、大気環境基準を満たした。

塩化水素ガス濃度は、いずれも不検出であった。塩酸投入作業では、塩酸ミスト発生のおそれがあったが、水を投入した後に塩酸を投入すること、スクラバーの運転を行うことで、著しい発生は認められなかった。

#### ②排水

回収液を消石灰にて中和処理し澱物を沈降分離し、上澄水について排水基準を満たした。

#### ③騒音

バックハウ後部より30m離れた地点は騒音・振動ともに60dB程度であった。

#### ④二酸化炭素排出量

汚染土壌10,000tを処理すると仮定した場合の二酸化炭素排出量は、1回抽出の場合6.64kg/t、同様に2回抽出9.54kg/t、3回抽出13.4kg/tと算出された。(算出根拠は別紙参照)

### 検討会概評

本技術は、汚染土壌中の有害な重金属を鉍酸により抽出・低減し、抽出により失われた有用成分を添加して土壌として再生するものであり、これを汎用土木機材からなる簡易な装置で実現し、処理の汎用性と低コスト化を目指しているのが特徴である。

含有量基準を超過していた鉛汚染土壌及び溶出量基準を超過していたふっ素汚染土壌、砒素汚染土壌で、基準値以下まで濃度を低減することができた。Tessierの逐次抽出法による分析結果によると、鉛は結合形態に関わらず低減しているが、ふっ素と砒素は残渣、残渣態の明確な低減は認められなかった。このことから、ふっ素、砒素について多様な土壌を対象とするには抽出薬剤の選定も含めた検討が必要である。

鉛の含有量については、除去率は18%程度と低いものの、低濃度汚染土壌への適用、小規模施工を低コストで実現できる可能性は示された。しかし、1回の抽出で除去できる濃度範囲は狭く、複数回の抽出では、既存の洗浄処理と比べコスト的な優位性が小さいことから、適用範囲を広げるためには1回の抽出で基準を満たすまで濃度を低減できるよう除去率を向上させる必要がある。また、本技術は、鉍酸により有害な重金属を抽出して濃度を低減する技術であるが、溶出量については、抽出後に増加するものを薬剤で処理することによって低減しており、長期的な安定性については更に検討が必要である。

## 別紙（重金属汚染土壌の簡易酸抽出処理法）

### 1. 費用の算出

#### 1) 試算前提の主要諸元

汚染土壌濃度	: 鉛 180mg/kg (1回抽出)、200mg/kg (2、3回抽出)
目標処理濃度	: 鉛 150mg/kg
処理量	: 10,000t
処理能力	: 1回抽出 100t/日、2回抽出 70t/日、3回抽出 50t/日
運転時間	: 7h
稼働日数	: 100日 (1回抽出)、143日 (2回抽出) 200日 (3回抽出)
処理時間	: 4ヶ月 (1回抽出)、6ヶ月 (2回抽出)、8.2ヶ月 (3回抽出)
処理条件	: 塩酸 100kg/t、ポリ硫酸第二鉄 10kg/t、ポリ塩化アルミニウム 10kg/t、生石灰 20kg/t、炭酸カルシウム 20kg/t
減価償却期間	: 特になし
工費の試算範囲内	: 光熱水費、資機材費、薬剤費、モニタリング経費、人件費、排水処理費、汚泥処分 50kg/t(1回抽出)、100kg/t(2回抽出)、150kg/t(3回抽出)
工費の試算範囲外	: 事務所、トイレ等の共通仮設、掘削・埋め戻し

#### 2) 処理費用の算出

上記を基に本実証試験で得られたデータから経済性を試算すると以下の様に算定された。

総費用(10,000t 処理時)	1回抽出 132,000,000 円、2回抽出 172,000,000 円、 3回抽出 216,000,000 円
処理単価	1回抽出 13,200 円/t、2回抽出 17,200 円/t、3回抽出 21,600 円/t

### 2. 二酸化炭素排出量の算出

二酸化炭素排出量の計算に当っては、上記の費用算出と同条件とし、“地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条一のロ（平成14年12月19日一部改正）”の排出係数一覧表の数値を用いて算出した。

当該技術における二酸化炭素排出源は、発電機とバックホウ及び汚泥搬出車両、搬入出車両の各燃料使用である。

#### ① 発電機、バックホウ燃料使用量（軽油）

発電機 50L/日、バックホウ 2台×100L/日の計 250L/日とした。

250L（軽油）×処理期間 100日(1回抽出)/143日(2回抽出)/200日(3回抽出)

×単位発熱量 38.2GJ/kL×排出係数 0.0187tC/GJ×44/12

=65.48t (1回抽出)、93.64t(2回抽出)、131.0t(3回抽出)

#### ② 汚泥搬出車両および搬入出車両

20kmを運搬するとして車両からの排出量を試算した。排出係数は(社)日本物流団体連合会の「モーダルシフトに関する調査報告書」を引用した。

汚泥搬出：10t×50台(1回抽出)/100台(2回抽出)/150台(3回抽出)×20km×排出係数  
(一般道)86g/t・km=0.86t(1回抽出)、1.72t(2回抽出)、2.50t(3回抽出)

機材搬入出：{15t×2台+10t×2台}×20km×排出係数(一般道)86g/t・km=0.086t

総排出量(1回抽出) = 65.48 + 0.86 + 0.086 = 66.4t

総排出量(2回抽出) = 93.64 + 1.72 + 0.086 = 95.4t

総排出量(3回抽出) = 131.0 + 2.50 + 0.086 = 134t

総排出量(10,000t 処理時) 1回抽出 66.4t、2回抽出 95.4t、3回抽出 134t

排出原単位 1回抽出 6.64kg/t、2回抽出 9.54kg/t、3回抽出 13.4kg/t