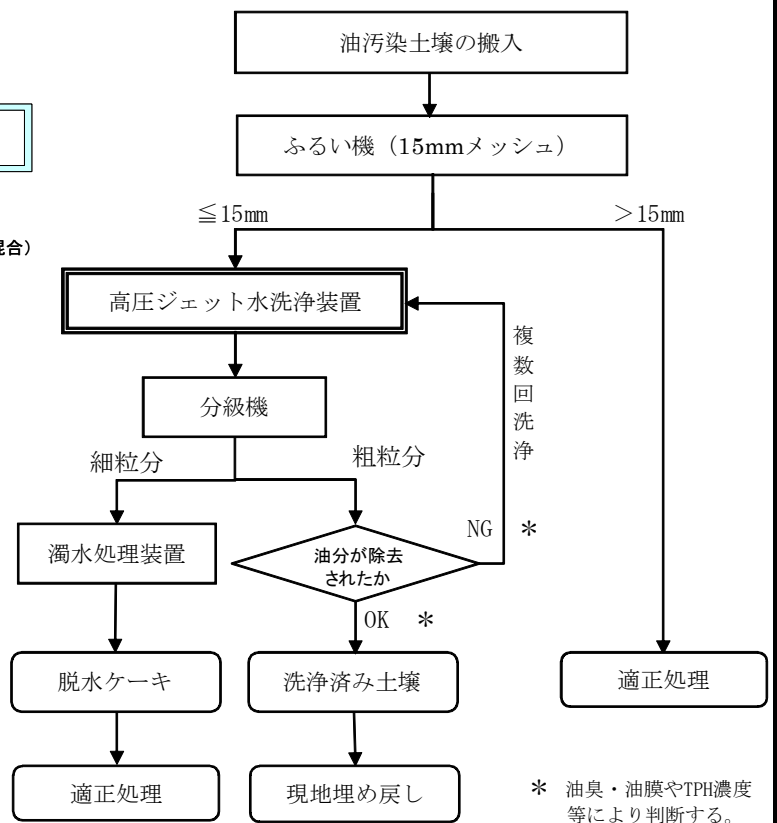
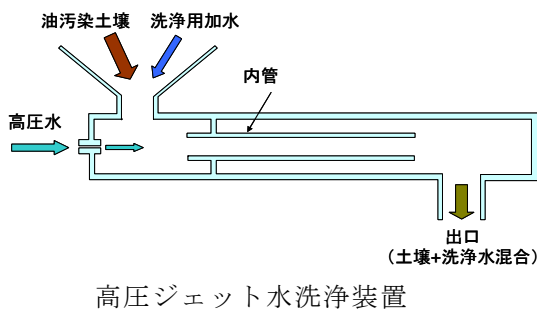


# 平成22年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査・対策技術検討調査 及びダイオキシン類汚染土壤浄化技術等確立調査実証試験結果

代表機関名		技術の名称	
東電設計株式会社		高圧ジェット水を用いた土壤洗浄技術	
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	洗浄分離	鉱油類	現場外

## (技術の原理)

3.5MPa の高圧ジェット水をノズルから内管に噴射することによって高速空気流を発生させ、その上部から油汚染土壌と水を投入し、油汚染土壌と水がジェット水流、高速空気流と一体になって管内に引き込まれる時に発生する剪断力等を利用して土粒子を細かく解砕し、解砕された土壌を分級することにより、汚染物質（油分など）が吸着・濃縮している粒径の土壌を抽出（分離）する。



## 技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方

本技術は、従来の洗浄技術に比べて洗浄設備の小型化・ユニット化を図っているため、小規模な汚染サイト（汚染土壌量 1,000～5,000t 程度）でのオンサイト洗浄処理が可能となる。油汚染土壌サイト内で本技術を用いることにより、油分が付着した土壌中の細粒分を抽出（分離）し、油分が除去された粗粒分は現地に埋め戻すことができるため、掘削除去と比較して焼却処理のためにサイト外へ搬出する土壌量を減らすことができる。これにより、サイト周辺の交通混雑に与える影響や搬出車両の排ガス、焼却施設から排出される排ガスや CO<sub>2</sub> の削減が図られるとともに、外部処理費を含めた全体の処理コストを削減することができる。

## 調査結果の概要

### (1) 実証調査方法

#### ①実証調査条件

汚染物質（油種）、汚染濃度（油分濃度）、土質（細粒分の比率）の異なる4種類の油汚染土壌を用いて洗浄試験を行った。

表1 実証試験条件

ケース	汚染物質 (油種)	汚染濃度(油分) (mg/kg)	土質 (細粒分%)	洗浄装置処理量 (t)	処理速度 (t/時間)	連続運転 時間
1	軽油	440	22.3	10.3	3	4～5時間
2	軽油～残油	860	14.4	13.1	3	4～5時間
3	軽油～残油	7,600	61.5	11.1	3	4～5時間
4	軽油	25,000	72.2	3.4	3	2時間

#### ②モニタリング方法

本技術による油汚染土壌の処理状況、及び本技術の施工に伴う排ガス、周辺環境への影響を評価するため、表2及び図1に示す項目についてモニタリングを実施した。

表2 モニタリング項目一覧

種類	記号	測定対象	分析項目	分析方法	分析頻度	検体数
処理状況	S1	原土壌（ふるい下）	油分濃度	油汚染対策ガイドライン準拠（GC-FID法）	各ケース2回	8
			油分濃度	簡易試験（ペトロフレッジ法）	各ケース6回	24
			油臭・油膜	油汚染対策ガイドライン準拠，シャーレ法	各ケース2回	8
			土対法基準項目	土壌溶出量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第18号）	各ケース1回	4
				土壌含有量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第19号）	各ケース1回	4
			土の含水比	JIS A 1203	各ケース2回	8
			土の粒度試験	JIS A 1204(土粒子の密度試験含む)	各ケース2回	8
	S2	洗浄済み土壌	油分濃度	油汚染対策ガイドライン準拠（GC-FID法）	各ケース2回 (2,3回目は各1回 4Gは5回洗浄)	18
			油分濃度	簡易試験（ペトロフレッジ法）	各ケース6回 (2,3回目は各1回 4Gは5回洗浄)	34
			油臭・油膜	油汚染対策ガイドライン準拠，シャーレ法	各ケース2回 (2,3回目は各1回 4Gは5回洗浄)	18
			土対法基準項目	土壌溶出量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第18号）	各ケース1回	4
				土壌含有量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第19号）	各ケース1回	4
			土の含水比	JIS A 1203	各ケース2回 (2,3回目は各1回 4Gは5回洗浄)	18
			土の粒度試験	JIS A 1204(土粒子の密度試験含む)	各ケース2回 (2,3回目は各1回 4Gは5回洗浄)	18
	S3	分級機堆積物	油分濃度	油汚染対策ガイドライン準拠（GC-FID法）	各ケース1回	4
			油分濃度	簡易試験（ペトロフレッジ法）	各ケース3回	14
			油臭・油膜	油汚染対策ガイドライン準拠，シャーレ法	各ケース1回	4
			土対法基準項目	土壌溶出量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第18号）	各ケース1回	4
				土壌含有量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第19号）	各ケース1回	4
			土の含水比	JIS A 1203	各ケース1回	4
			土の粒度試験	JIS A 1204(土粒子の密度試験含む)	各ケース1回	4
	S4	脱水ケーキ	油分濃度	油汚染対策ガイドライン準拠（GC-FID法）	各ケース1回	4
			油分濃度	簡易試験（ペトロフレッジ法）	各ケース3回	12
			ベンゼン	土壌溶出量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第18号）	2K、3F 各1回	2
土の含水比			JIS A 1203	各ケース1回	4	
土の粒度試験			JIS A 1204(土粒子の密度試験含む)	各ケース1回	4	
-	-	油分吸着槽浮遊物	油分濃度	GC-FID法	3F, 4G 各1回	2
			含水率	JIS A 1203準拠	3F, 4G 各1回	2
			油臭・油膜	油汚染対策ガイドライン準拠，シャーレ法	3F, 4G 各1回	2
			土対法基準項目	土壌溶出量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第18号）	3F, 4G 各1回	2
				土壌含有量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第19号）	3F, 4G 各1回	2
-	-	ふるい上（15mm超）	油分濃度	GC-FID法	各ケース1回	4
L1	水道水（ブランク）	油分濃度	GC-FID法	試験前1回	1	
		ベンゼン	排水基準に係る検定方法（昭和49年環境庁告示第64号）	試験前1回	1	
		濁度（SS濃度）	昭和46年環境庁告示第59号	試験前1回	1	
		pH	JIS K 0102	試験前1回	1	
L2	洗浄水（循環水）	油分濃度	GC-FID法	各ケース1回	4	
		排水基準項目	排水基準に係る検定方法（昭和49年環境庁告示第64号）	各ケース1回	4	
		ダイオキシン類	JIS K 0312	各ケース1回	4	
L3	洗浄後泥水	油分濃度	GC-FID法	各ケース2回	8	
		ベンゼン	排水基準に係る検定方法（昭和49年環境庁告示第64号）	2K、3F 各1回	2	
		濁度（SS濃度）	昭和46年環境庁告示第59号	各ケース2回	8	
		pH	JIS K 0102	各ケース2回	8	

種類	記号	測定対象	分析項目	分析方法	分析頻度	検体数	
処理状況	L4	シクナー上澄み水	油分濃度	GC-FID法	各ケース1回	4	
			ベンゼン	排水基準に係る検定方法（昭和49年環境庁告示第64号）	2K、3F 各1回	2	
			濁度（SS濃度）	昭和46年環境庁告示第59号	各ケース1回	4	
			pH	JIS K 0102	各ケース1回	4	
	L5	スラリー	油分濃度	GC-FID法	各ケース1回	4	
			ベンゼン	排水基準に係る検定方法（昭和49年環境庁告示第64号）	2K、3F 各1回	2	
			濁度（SS濃度）	昭和46年環境庁告示第59号	各ケース1回	4	
			pH	JIS K 0102	各ケース1回	4	
	L6	フィルタープレスろ液	油分濃度	GC-FID法	各ケース1回	4	
			ベンゼン	排水基準に係る検定方法（昭和49年環境庁告示第64号）	2K、3F 各1回	2	
			濁度（SS濃度）	昭和46年環境庁告示第59号	各ケース1回	4	
			pH	JIS K 0102	各ケース1回	4	
W1	油吸着マット	油分濃度	油汚染対策ガイドライン準拠（GC-FID法）	ブランク+各ケース1回	5		
		ベンゼン	土壌溶出量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第18号）	ブランク+2K、3F 各1回	3		
		含水率	JIS A 1203準拠	ブランク+各ケース1回	5		
W2	油吸着モールド	油分濃度	油汚染対策ガイドライン準拠（GC-FID法）	ブランク+各ケース1回	5		
		ベンゼン	土壌溶出量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第18号）	ブランク+2K、3F 各1回	3		
		含水率	JIS A 1203準拠	ブランク+各ケース1回	5		
作業環境・排ガス	G1	洗浄装置出口空気	油分濃度	GC-FID法、現地ガスサンプリング	各ケース1回	4	
			ベンゼン、トルエン	GC-MS法、現地ガスサンプリング・検知管	2K、3F 各1回	2	
	G2	実験場所空気 （テント内排出口前）	油分濃度	GC-FID法、現地ガスサンプリング	ブランク+各ケース1回	5	
			油臭	油汚染対策ガイドライン準拠	ブランク+3F	2	
			ベンゼン、トルエン	GC-MS法、現地ガスサンプリング	ブランク+2K+3F	3	
	G3	実験場所空気 （テント外換気排出口）	油臭	油汚染対策ガイドライン準拠	ブランク+3F	2	
			大気有害物質 <sup>注1)</sup>	大気有害物質の量の測定方法（平成22年環境省告示第25号） <sup>注2)</sup>	ブランク+3F	2	
	周辺環境	G4	敷地境界大気 （東西南北4点）	油臭	油汚染対策ガイドライン準拠	ブランク+3F	8
				ベンゼン、トルエン	GC-MS法、現地ガスサンプリング	ブランク+3F	8
		N1	敷地境界騒音（4点）	騒音レベル	JIS Z 8731	ブランク+3F	2
		V1	敷地境界振動（4点） 周縁地下水	振動レベル	JIS Z 8735	ブランク+3F	2
	油分濃度			GC-FID法	ブランク+3F	2	
地下水基準項目	地下水に含まれる試料採取等対象物質の量の測定方法（平成15年環境省告示第17号）			ブランク+3F	2		
		トルエン	GC-MS法	ブランク+3F	2		

注1) 大気有害物質は汚染土壌処理業に関する省令第4条第1号(1)カドミウム及びその化合物、(2) 塩素、(3) 塩化水素、(4) ふっ素、(5) 鉛及びその化合物、(6) 窒素酸化物並びに1,2ジクロロエタン、ジクロロメタン、水銀及びその化合物、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、ベンゼン、PCB及びダイオキシン類とする

注2) 1,2ジクロロエタン及びジクロロメタンについてはJIS K0305、水銀及びその化合物についてはJIS K0222、テトラクロロエチレン及びトリクロロエチレンについてはJIS K0305、ベンゼンについてはJIS K0088、PCB及びダイオキシン類についてはJIS K0311に準拠

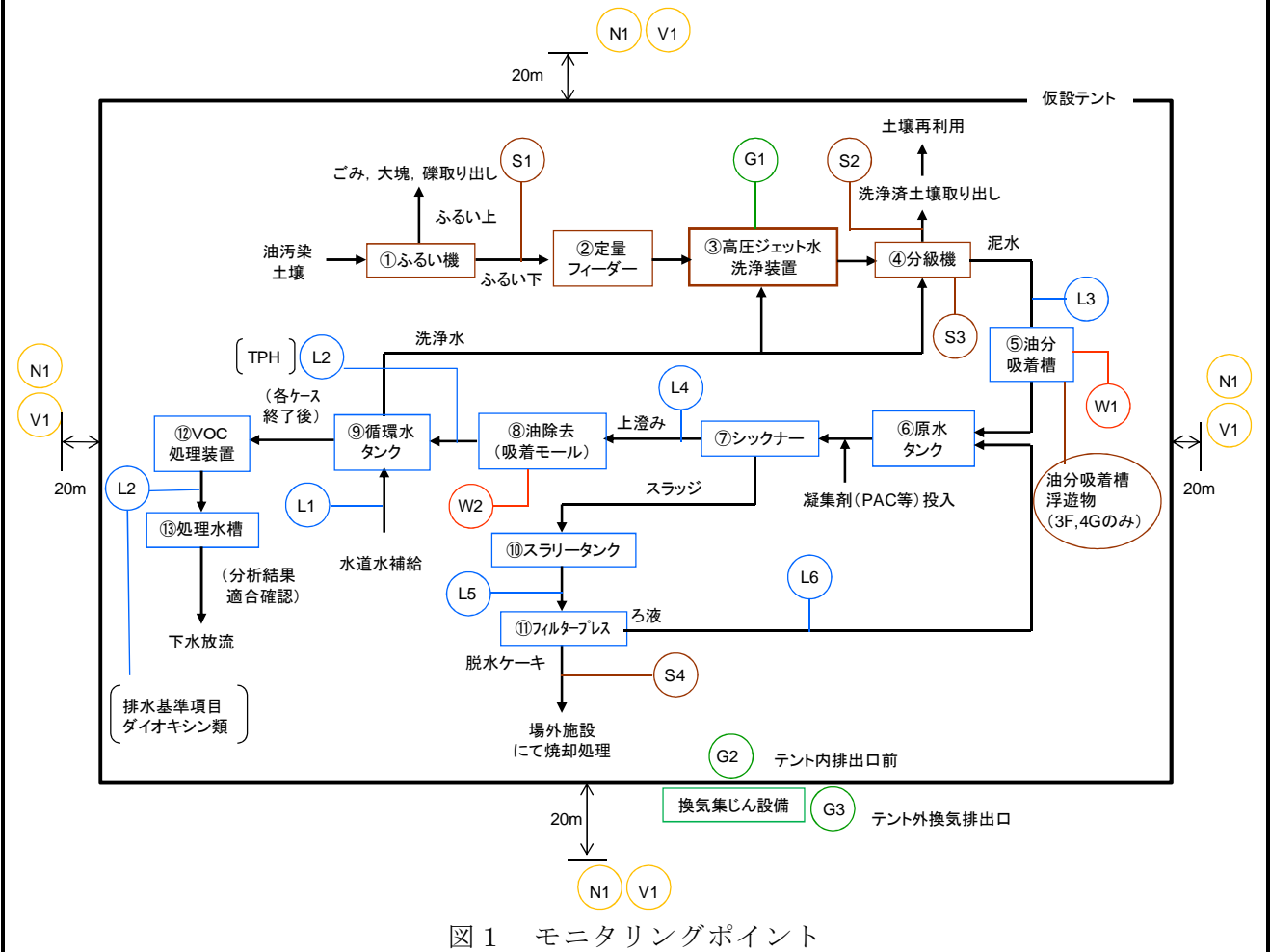


図1 モニタリングポイント

(2) 土壌の処理量及び性状等

- 1) 土 質： 粘性土質礫質砂(ケース1)、粘性土礫まじり砂(ケース2)、礫まじり砂質粘性土(ケース3,4)  
(細粒分 14.4~72.2%)
- 2) 性状等： 油分濃度 440~25,000mg/kg
- 3) 処理量： 4ケース合計 37.9t (1ケース当たり 3.4~13.1t)

(3) 有効性についての考察

①除去率

油分の除去率は、1回洗浄済み時点で 36.8~67.4%であり、目標とする除去率 95%を達成できなかった。また 3~5回の繰り返し洗浄を試みた後では、約 90%程度までの除去率であった。分級性能については、いずれのケースも 2回目の繰り返し洗浄以降で目標とする洗浄済み土壌の細粒分 10%以下をほぼ達成しており、3~5回の繰り返し洗浄後も除去率が目標に満たなかった要因としては、対象土壌における粒度以外の性状に係る何らかの要因(例えば粗粒分の土粒子表面が汚染源に起因して親油性を獲得していた等)が考えられる。

油臭・油膜については、ケース3において3回目、ケース4において5回目の洗浄後に「油臭なし・油膜なし(油臭の程度は0~1段階)」と判定された。

表3 洗浄結果

ケース	試料名	粒度分布 (%)			油分濃度 (TPH) (mg/kg)	除去率 (%)	油臭・油膜	
		礫分 (2~75mm)	砂分 (0.075~2mm)	シルト・粘土分 (~0.075mm)			油臭*	油膜
1	原土壌	32.5	45.2	22.3	440	—	0	なし
	1回洗浄済み土壌	39.4	47.3	13.4	180	59.1	0	なし
	2回洗浄済み土壌	51.0	46.1	2.9	140	68.2	0	なし
	3回洗浄済み土壌	50.6	47.0	2.0	150	65.9	0	なし
2	原土壌	8.5	77.2	14.4	860	—	0	なし
	1回洗浄済み土壌	9.5	86.7	3.9	280	67.4	0	なし
	2回洗浄済み土壌	11.4	87.4	1.2	180	79.1	0	なし
	3回洗浄済み土壌	11.9	87.6	0.5	160	81.4	0	なし
3	原土壌	12.1	26.5	61.5	7,600	—	3~4	あり
	1回洗浄済み土壌	28.0	51.5	20.5	4,800	36.8	2	なし
	2回洗浄済み土壌	31.4	57.8	10.8	4,700	38.2	2	なし
	3回洗浄済み土壌	26.5	69.2	4.3	4,300	43.4	1	なし
4	原土壌	4.7	23.1	72.2	25,000	—	3	あり
	1回洗浄済み土壌	9.4	42.0	48.6	14,000	44.0	1~2	あり
	2回洗浄済み土壌	25.2	68.5	6.3	4,300	82.8	2	なし
	3回洗浄済み土壌	25.9	65.0	9.1	5,100	79.6	2	なし
	4回洗浄済み土壌	17.0	77.4	5.6	3,100	87.6	2	なし
	5回洗浄済み土壌	24.8	73.6	1.6	2,800	88.8	1	なし

※油臭の値は「油汚染対策ガイドライン」における油臭の程度の表示例の段階を示す。

②処理水

油分濃度 (TPH) : 濁水処理設備により、定量下限 (10mg/L) 未満に処理された。

③副生成物など

洗浄装置処理量 28.3t-dry (100%) に対し、脱水ケーキが 10.1t-dry (36%) が発生し、その他装置堆積物を除き、洗浄済み土壌は 16.8t-dry (59%) であった。

#### (4) 実用性についての考察

##### ○安定性

洗浄に係る総作業時間 42 時間で、合計約 84.5t (繰り返し洗浄分の土壌量も含む) の油汚染土壌の洗浄を行った。実証初期にふるい機の網目の設定を 20mm と設定したところ洗浄装置内で礫が詰まるトラブルが 1 回発生(その後 15mm に設定を変更したところ改善)したことから、ふるい機の網目の設定等の土壌の供給条件には留意する必要がある。

#### (5) 経済性についての考察

##### ○効率性

実証調査における汚染土壌 1t 当たりの投入エネルギー効率は 316.4MJ/t-wet であった。  
実証調査における作業効率は、200kg/人・h であった。

##### ○経済性

実証調査における汚染土壌 1t 当たりの処理費用は、607,000 円/t と試算された。実証調査結果に基づく実規模 (5,000t を処理すると仮定した場合) での処理費用は 38,200 円/t と試算された。(別紙参照)

#### (6) 周辺環境への負荷

##### ①環境大気

仮設テント内を換気する換気・集じん設備からの排出空気における油臭について測定した結果、ブランク値と比較して同等であり、周辺大気環境への影響は確認されなかった。

##### ②排水

洗浄装置からの排水は、装置稼働中は濁水処理の後に循環水として利用し、実証試験終了後に下水排除基準を満たしていることを確認した上で下水に放流した。なお、シアンが溶出量基準を超過する油含有土壌を処理したところ、排水においてもシアンの下水排除基準を超過したことから、油含有土壌を受け入れる際には汚染状態には留意する必要がある。

##### ③騒音・振動

洗浄装置稼働中にテントから 20m 離れた四方 4 地点で測定した結果、騒音が 51~56dB、振動が 39~46dB であった。

##### ④二酸化炭素排出量

本実証調査における二酸化炭素排出量は、112.8kg-CO<sub>2</sub>/t であった。本実証調査結果に基づく実規模 (5,000t を処理とした場合) での排出量は、117.2kg-CO<sub>2</sub>/t と試算された。(別紙参照)

### 検討会概評

本技術は、油汚染土壌を対象とした洗浄分離技術であり、高圧水のジェット噴射による土壌の解砕装置と分級機とを組み合わせることで、土壌中の油分の除去率を向上させるとともに、装置の小型化により汚染土壌量 1,000～5,000t 程度でのオンサイト浄化を目指した技術である。

実証調査では、油臭・油膜について複数回の繰り返し洗浄後に目標を達成したものの、油含有濃度（1,000mg/kg 以下）及び油分除去率（95%以上）については達成できなかった。<sup>\*</sup>

※ケース 1,2 については、原土壌が 1,000mg/kg を下回り、また油臭・油膜もなしであったため評価対象外とする。

油含有濃度及び油分除去率が目標を達成できなかった要因としては、分級性能は目標を達成していることから、対象とした原土壌の細粒分の割合、含有油の種類等に起因していることが考えられる。

このため、本技術については、高い除去率での分級洗浄が可能となる土壌等の条件を明確にする必要がある。

#### 実証試験の目標値及び評価

	評価項目	目標値	評価
浄化効果・コスト	油分 ①土壌含有量 ②除去率 ③油臭及び油膜	①洗浄済土壌の油含有濃度 ：1,000mg/kg 以下 ②除去率：95%以上 ③油臭、油膜なし	①②本実証調査においては、目標を達成できなかった。このため、過去に 1,000mg/kg 以下を達成した適用実績における土壌等の条件も踏まえ、高い除去率での分級洗浄が可能となる土壌等の条件（細粒分の割合、含有油の種類等）を十分に整理する必要がある。 <sup>*</sup> ③繰り返し洗浄を行うことにより目標を達成した。 <sup>*</sup>
	処理コスト (試算結果)	20,000 円/t 以下 (従来比 20%削減)	本実証調査結果に基づき試算した処理コストは 38,200 円/t となり、目標を達成できなかった。このため、過去に 20,100 円/t を達成した適用実績における土壌等の条件も踏まえ、高い除去率での分級洗浄が可能となる土壌等の条件（細粒分の割合、含有油の種類等）を十分に整理する必要がある。
	洗浄済土壌中の細粒分（75 $\mu$ m 以下）割合	10%以下	繰り返し洗浄を行うことにより目標値を満たし、目標を達成。
	脱水ケーキ中の砂分（75 $\mu$ m 超）の割合	10%以下	目標値を満たしており、目標を達成。
	脱水ケーキの含水率	50%以下	目標値を満たしており、目標を達成。
	循環水の油分濃度	油分濃度：10mg/L 以下	目標値を満たしており、目標を達成。

環境負荷	作業環境 (ケース 2, 3)	①ベンゼン：1ppm 以下 ②トルエン：20ppm 以下	全項目において目標値を満たしており、目標を達成した。
	環境への負荷	43kg-CO2/t 以下 (従来比 60%削減)	本実証調査結果に基づき試算したCO2 排出量は 117.2kg-CO2/t となり、目標を達成できなかった。このため、40.2kg-CO2/t を達成した過去の適用実績における土壌等の条件も踏まえ、高い除去率での分級洗浄が可能となる土壌等の条件(細粒分の割合、含有油の種類等)を十分に整理する必要がある。
		①排水濃度 ：5mg/L 以下(鉱物油) ②騒音：60dB 以下(昼間) ③振動：60dB 以下(昼間) ④その他：油臭がないこと ⑤ベンゼン濃度 ：0.003mg/m3 以下	全項目において目標値を満たしており、目標を達成した。
※ケース 1, 2 については、原土壌が 1,000mg/kg を下回り、また油臭・油膜もなしであったため評価対象外とする。			

別紙（技術の名称：高圧ジェット水を用いた土壌洗浄技術）

## 1. 費用の算出

○実証対象技術のコストについて

コスト計算に当っては、実証調査のケース4の結果（5回洗浄で油臭・油膜なしを達成）をもとに、以下の条件を前提として試算している。

### 1) 試算前提の主要諸元

汚染土壌濃度（溶出量・含有量）	: 油含有量 25,000mg/kg (比較的軽い油種とし、土壌汚染対策法における土壌溶出量基準及び土壌含有量基準に適合しているものとする)
汚染土壌の性状	: 粒径 15mm 以上が 13.6% (680t)、粒径 75 $\mu$ m 以下の細粒分が 72.2% (3,610t)
目標処理濃度（溶出量・含有量）	: 油臭・油膜なし
処理量 (t)	: 5,000t (但し 5 回の繰返し洗浄を行うため 総洗浄土量は 9,235 t)
処理能力 (t/h)	: 9t/h (3t/h $\times$ 3 台) (5 回洗浄)
運転時間 (h)	: 5h/日
稼働日数 (日)	: 230 日
処理時間 (月 or 年)	: 7.7 ヶ月
処理条件	: 脱水ケーキの場外処理プラントまでの運搬 距離 100km、場外処理プラントでの処理能力 50t/日
工費の試算範囲内	: 設備の設置・撤去費、設備の運転費、モニタリング費、場外プラントでの処理コスト
工費の試算範囲外	: 掘削及び埋め戻し作業費

### 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 (5,000t 処理時)	190,940,000 円
処理単価	38,200 円/t

## 2. 二酸化炭素排出量の算出

○実証対象技術の炭酸ガス排出量について

二酸化炭素排出量の計算に当っては、以下の前提として試算している。

※地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条第一項（平成 18 年 4 月 1 日一部改正）の排出係数一覧表の数値を用いて二酸化炭素排出量を算出した。

総排出量 (5,000t 処理時)	586,090 kg-CO <sub>2</sub> /t
排出原単位	117.2kg-CO <sub>2</sub> /t