

# 平成21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	
アジア航測株式会社		スチーム - エアインジェクション法による 揮発性有機化合物の原位置浄化技術 (TSVE工法・加熱土壤ガス吸引法)	
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	原位置抽出	テトラクロロエチレン	原位置

**(技術の原理)**

スチーム - エアインジェクション法（以下、TSVE 工法）は、汚染土壤地盤中に水蒸気と空気の混合気体を注入して、汚染物質と水との共沸点よりも高い温度まで加熱することにより汚染物質をその沸点より低い温度で揮発させて、回収する工法である。発生する土壤ガス及び凝縮水中の汚染物質については活性炭吸着等して除去する。

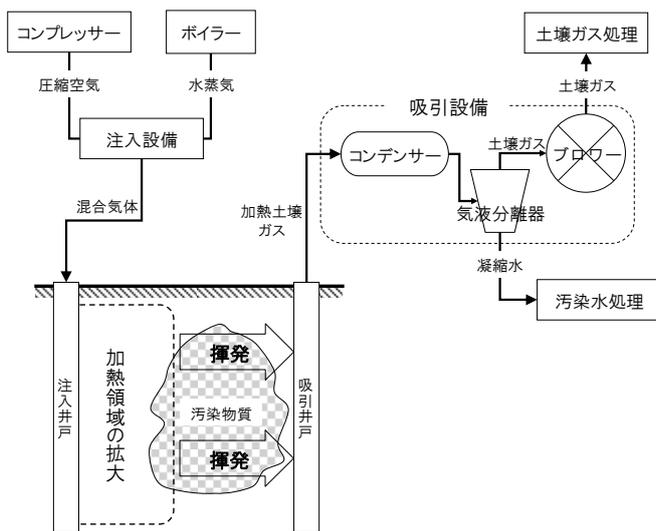


図1 浄化フロー

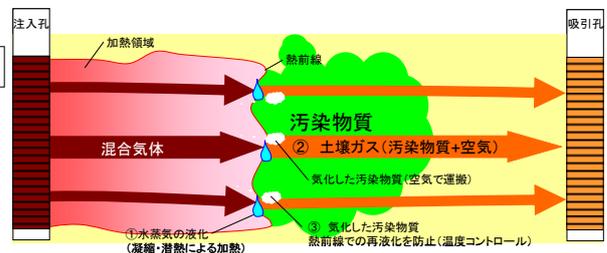


図2 混合気体による汚染土壤の浄化

### 技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方

本技術では、蒸気加熱により汚染物質を気化することで浄化期間を短縮できる。また、浄化プロセスにおいては、昇温による汚染物質の相変化のみが行われるため、副生成物が生じることはなく、安全性は高い。

常温の土壤ガス吸引法（以下、SVE 工法）と比較して浄化期間が短縮されることで、処理土量当たりのコスト及び二酸化炭素排出量を削減でき、環境負荷も低い技術である。

### 調査結果の概要

**(1) 実証調査方法**

**① 実証調査条件**

テトラクロロエチレン汚染土壤現場において、TSVE 工法による浄化試験を行った。水蒸気・空気の混合気体の注入は、試験期間中は昼夜連続して行った。同時に隣接地で SVE 工法での浄化試験も併行し、浄化効果を比較した。

表 1 試験条件

	仕様	TSVE 工法	SVE 工法
土壌条件	浄化対象面積 m <sup>2</sup>	78	130
	浄化深度、層厚 m	GL-0.3~-2.5m、厚さ 2.2m	
	地盤の熱容量 kJ/m <sup>3</sup> /K	2400	
	地盤の初期温度	15℃ (GL-0.7~-2.5m の平均値)	
試験条件	目標加熱温度 ℃	88 以上 (注入温度 90℃)	-
	計画注入圧 kPa (G)	17 以下	-
	計画総注入水蒸気量 t	28	-
	水蒸気の注入速度 kg/h	59 (期間平均)	(吸引速度 55 m <sup>3</sup> /h)
	試験期間	20 日間 (24 時間連続)	20 日間 (24 時間連続)

②モニタリング方法

表 2 モニタリング項目

測定箇所 (図 3 参照)		測定・分析項目	試料数	頻度
①	圧縮空気(注入設備)	圧力・流量・温度	-	1 時間毎~1 回/日
②	水蒸気(注入設備)	圧力・流量	-	10 分毎
③	注入気体(注入孔)	圧力・温度	-	10 分毎
④	吸引ガス(吸引孔口)	温度	8 本	1-5 回程度/日
⑤	地下水	VOC12 項目*、水温、水位	2 箇所**	1 回/日
⑥	凝縮水	VOC12 項目*	15 検体	1 回/日
⑦	吸引ガス(活性炭前)	TVOC	2 台	1 時間毎~
⑧	排水処理設備	流量	-	-
図 3 外 (TSVE 工法と SVE 工法の境界)	土壌ガス	VOC12 項目*	92 検体	1 回/日×4 箇所

\*VOC12 項目：第一種特定有害物質 11 項目、トランス-1,2-ジクロロエチレン

\*\*エリアは TSVE 工法と SVE 工法各 1 エリア

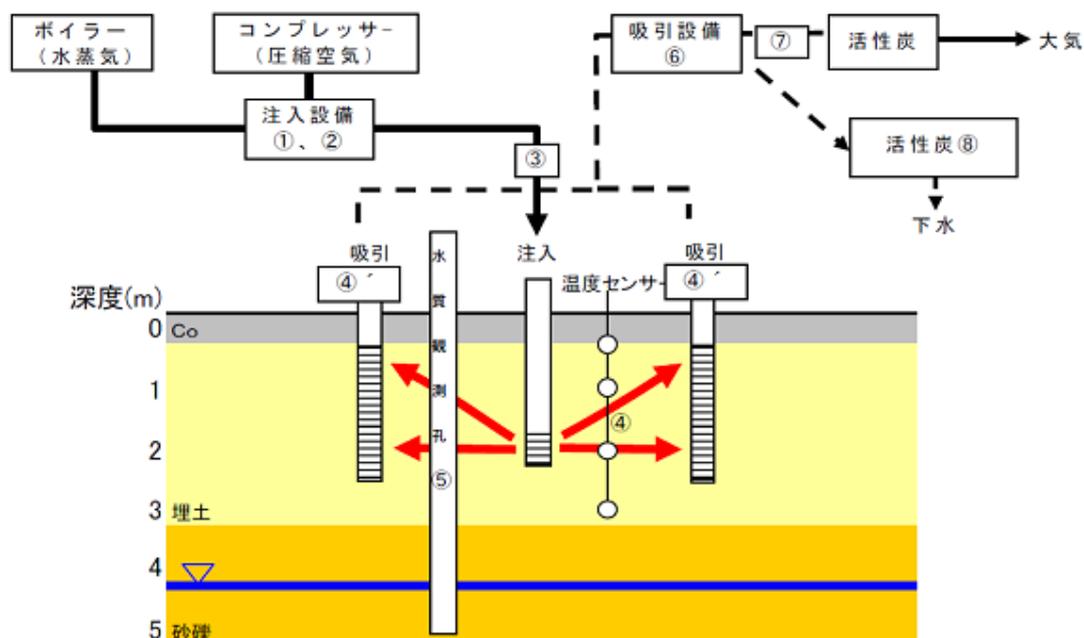


図 3 実証試験の計画断面図

(2) 土壌の処理量及び性状等

- 1) 土質：砂質シルト、ローム質土（不飽和帯）
- 2) 性状等：テトラクロロエチレン 0.01 mg/L（溶出量の最大値）
- 3) 処理量：TSVE 172m<sup>3</sup>、推定 290t（単位体積重量を 1.7t/m<sup>3</sup>として）  
SVE 290m<sup>3</sup>、推定 490t（                      ”                      ）

(3) 有効性についての考察

①減少率

事前調査と事後調査におけるテトラクロロエチレンの土壌溶出量から算出した減少率は、TSVE 工法が 93%～98%以上、SVE 工法が - 200～70%であった。しかし、地下水及び浄化エリア近傍の床下においてテトラクロロエチレンの濃度上昇が見られたことから、気化したテトラクロロエチレンが吸引・除去されず周辺へ拡散したことが推測される。

表 3 分析結果と除去率（テトラクロロエチレン、土壌溶出量）

試験ケース	調査地点	事前濃度 mg/L	事後濃度 mg/L	減少率 %
TSVE 工法	TSVE-1	0.003～0.008	0.0002 未満	93 以上～98 以上
	TSVE-2	0.003～0.01	0.0002 未満～0.0003	93 以上～98 以上
SVE 工法	SVE-1	0.002～0.006	0.0016～0.0055	- 200～70%
	SVE-2	0.001～0.006	0.0013～0.0030	- 100～50%

②排ガス

TSVE 工法により吸引回収したガス中のテトラクロロエチレン量は 440g であり、対象地盤中の推定総量より多かった。対象地盤以外に周辺地盤からの流入などの原因が考えられる。ガスは活性炭吸着処理し、処理後の排ガスのテトラクロロエチレン濃度は全検体が 0.4ppm 未満であった。

③処理水

吸引回収したガスから気液分離された排水は活性炭吸着処理し、処理水中のテトラクロロエチレン濃度は全検体が不検出であり、排水基準（0.1mg/L）以下であった。

(4) 実用性についての考察

○安定性

注入圧力・温度、吸引流量は安定しており、用いた機器及び浄化設備にトラブルはなかった。

○安全性

地下水中のテトラクロロエチレンに濃度上昇が認められた。また、浄化エリア近傍の床下にもテトラクロロエチレン濃度上昇が認められた。これらは、熱及び蒸気により揮発したテトラクロロエチレンのうち再度液体化したものが地下水中に降下浸透したこと、また、気化したテトラクロロエチレンが床下で移動したことが原因と考えられる。これら地下水や近傍床下における濃度上昇については、地表からの放散も含め、汚染の拡散が懸念されるため、影響の確認及び対策の検討が必要である。

(5) 経済性についての考察

本実証調査では汚染が浄化できているか確認ができなかったため、経済性を算出する根拠を得ることができなかった。検討会概評における実証試験の評価においては、汚染の拡

散防止措置等の改善を検討した上でのコスト試算を記載する。

(6) 周辺環境への負荷

① 環境大気

○ 排出濃度・量

ガス処理用活性炭からの排ガス中のテトラクロロエチレン濃度は 0.4ppm 未満であった。活性炭処理後の総ガス排出量は約 50,000 Nm<sup>3</sup>、テトラクロロエチレン回収量は 440g であった。

○ 周辺大気中濃度への影響

床下には加熱による漏出が確認されたが、地上部では漏洩は認められなかった。

② 排水

活性炭処理した排水は 3.3 m<sup>3</sup> 発生した。処理水中のテトラクロロエチレン濃度は不検出であり、排水基準以下のため処理水は下水に放流した。

③ 騒音・振動

浄化設備稼働中の騒音レベルは平均 51～74dB、振動レベルは平均 27～58dB であった。

④ 二酸化炭素排出量

実証調査における二酸化炭素排出量 45kg-CO<sub>2</sub>/t であった。検討会概評における実証試験の評価においては、実規模での排出量は、拡散防止措置等の改善を検討した上での排出量を記載する。

### 検討会概評

本技術は水蒸気と空気の混合気体を VOC 汚染土壌に注入することで、VOC の気化、回収の効率を上げて短期間で施工することを目指した技術である。

実証調査では 20 日間の浄化においてテトラクロエチレンの土壌溶出量における TSVE 工法の濃度減少率は 93%～98%以上であり、SVE 工法を上回っていたが、地下水や近傍床下においてテトラクロエチレンの濃度上昇がみられた。

本技術は水蒸気を利用して効率的に VOC の気化を行う技術であるが、反面ドレン化して地下水を汚染することへの対策が重要である。現状では、実用技術として運用するには熱拡散過程の把握や揮発性物質の挙動把握に課題を有しており、揚水施設や鋼矢板の設置等による揮発性汚染物質の拡散防止対策や効率よく吸引除去する技術的改善が必要である。

#### 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	土壌溶出量 (テトラクロエチレン)	TSVE 法にて土壌溶出量を 1/10 まで低減させる (90%以上除去)	本実証調査においては周囲への漏出がみられ浄化できているか確認できなかったため、 ① 注入温度・流量・圧力の適正化 ② 地盤内圧力についての適応条件の選定 ③ 揚水施設や鋼矢板の設置等の拡散防止対策の選定 ④ 地下水等のモニタリング方法の検討 等の本技術の適応条件に関する検討を進め、改善に向けた対策を図る必要がある。
	加熱能力 (浄化期間) の評価	予測値(20 日間)からの誤差を 10%以内にする	予測値からの誤差が 15%(浄化期間：23 日間)であり、目標は達成できなかったため、 ① 注入温度・流量・圧力の適正化 ② 地盤内圧力についての適応条件の選定 等の改善に向けた対策を図る必要がある。
	コスト	土壌ガス吸引から 30%削減	本実証調査においては浄化目標を達成できなかった。なお、周辺への環境影響を考慮した適切な条件で施工した試算では、10,000t 処理時に 13,500 円/t となり、土壌ガス吸引を 11 年間行った場合と同様のコストとなったため、土壌ガス吸引の施工が極めて長期 (約 16 年以上) とならなければ、目標を達成するのは困難である。
環境負荷	二酸化炭素 排出量	土壌ガス吸引から 70%削減	本実証調査においては浄化目標を達成できなかった。なお、周辺への環境影響を考慮した適切な条件で施工した試算では、10,000t 当たり 34.6kg-CO <sub>2</sub> /t となり、土壌ガス吸引を 2.5 年間行った場合と同様のコストとなったため、土壌ガス吸引の施工が長期 (約 8 年以上) に及ぶことが想定される場合においては目標が達成できる可能性がある。
	地表面の 漏洩ガス濃度 (テトラクロエチレン)	作業環境評価基準以下 (50ppm)	ガスの地表への漏出は最大 7.5ppm であったが地下水及び付近の床下への移行が見られたため目標値に対する評価は困難であった。また、この結果から ① 注入温度・流量・圧力の適正化 ② 地盤内圧力についての適応条件の選定 ③ 揚水施設や鋼矢板の設置等の拡散防止対策の選定 ④ 地下水等のモニタリング方法の検討 等の本技術の適応条件に関する検討を進め、改善に向けた対策を図る必要がある。

別紙（スチーム - エアインジェクション法による揮発性有機化合物の原位置浄化技術（T S V E工法・加熱土壌ガス吸引法））

## 1. 費用の算出

○実証対象技術のコストについて

コスト計算に当たっては、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）	: 1mg/L
目標処理濃度（溶出量）	: 環境基準値以下
処理量（t <sup>*</sup> ）	: 10,000t ※単位体積重量(t/ m <sup>3</sup> )を1.7とした
処理能力（t/h）	: -
運転時間（h）	: 952
稼働日数（日）	: 吸引40日（うち水蒸気注入20日）
処理時間（月 or 年）	: 3ヶ月（仮設撤去含）
処理条件	: 揚水処理、バリア井戸の併用 地表面はアスファルトで被覆 最大注入温度90℃、24時間連続運転
減価償却期間（年）	: 5年
工費の試算範囲内	: 材料費、施工費（揚水処理含）、人件費、 諸経費
工費の試算範囲外	: 調査費（事前・事後）、運搬費

### 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（10,000t 処理時）	135,000,000 円
処理単価	13,500 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たっては、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二酸化炭素排出量を算出した。

算出根拠

実規模プラントでの灯油使用量：104,359 L

実規模プラントでの注入等に伴う電気使用量：154,722 kWh

算出式

灯油使用量(104,359 L) × 排出係数(2.49 kg-CO<sub>2</sub>/L)  
+ 電気使用量(154,722 kWh) × 排出係数(0.555 kg-CO<sub>2</sub>/kWh) = 346,000 kg-CO<sub>2</sub>

総排出量（10,000t 処理時）	346 t-CO <sub>2</sub>
排出原単位	34.6 kg-CO <sub>2</sub> /t