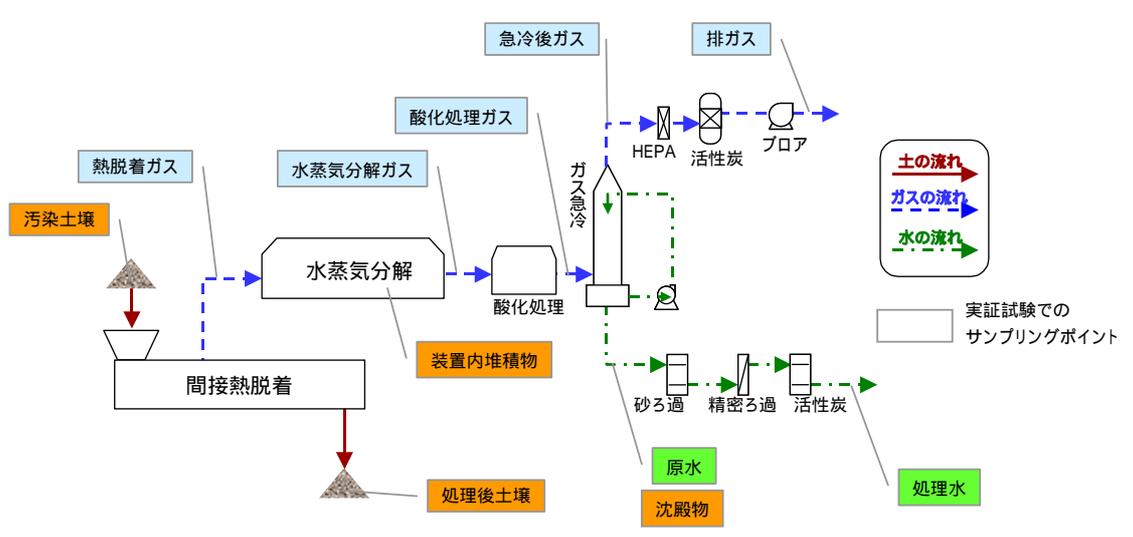


平成17年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査対策技術検討調査  
及びダイオキシン類汚染土壤浄化技術等確立調査結果

代表機関名		技術の名称	
株式会社東芝・株式会社テルム・株式会社鴻池組		間接熱脱着 + 水蒸気分解法（ジオスチーム法）	
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	加熱分離 + 加熱分解	ポリ塩化ビフェニール（PCB）	現場外
<p>（技術の原理）</p> <p>汚染土壤を 400～700℃ で 1 時間程度間接加熱して PCB 及びダイオキシン類を揮発・抽出すると同時に、抽出されたガスを水蒸気雰囲気下で約 1,100℃ に 3 秒間以上間接加熱して PCB・ダイオキシン類・有機物を分解する技術である。分解に必要な水蒸気は土壤中の水分を利用している。本技術は汚染物の抽出から分解までを同一システム内でおこなうため、濃縮汚染物を取り扱う必要がない。また、抽出・分解に薬剤を用いないため、危険物や毒劇物を扱うリスクがない。</p>			
			
処理フローの概略図			
技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方			
<p>開発当初の段階において、分離技術（間接熱脱着法、溶媒洗浄法、真空加熱法）、分解技術（水蒸気分解法、触媒分解法、フェントン反応法）の基礎データを取得し、環境負荷・処理性能・コストを比較評価した。環境影響を与える薬剤を使わないこと、土壤に含まれる夾雑物（PCB 含浸木片など）にも対応できること、高度な分解性能を保持すること、作業員のリスクを低減するため PCB 濃縮物の取扱が不要なことが重要と考えて各技術を比較検討した結果、分離技術として間接熱脱着、分解技術として水蒸気分解を組み合わせることにより、低コスト化・環境負荷低減を期待できると判断した。</p>			
調査結果の概要			
<p>（1）処理量 15.3t</p> <p>（2）試験条件</p> <p>試験の目的</p> <p>処理能力 50kg/h からスケールアップした規模（300kg/h）において、複数種類の汚染土壤（4 サイト・5 種類の実汚染土壤、PCB 含有量が最高 14,000mg/kg と高濃度）について最長 48 時間の連続処理実験を行うことにより、本技術の有効性・安定性を実証する。さらに、処理・運転データを基に、実処理のコスト試算を行い経済性を評価する。</p> <p>試験条件</p> <p>試験条件は下表のとおりとした。</p>			

設定温度:間接熱脱着700、水蒸気分解1,100 (全てのRUN(試験パターン)で共通)

	土壌処理量(t)	処理速度(kg/h)	定常運転時間(h)
RUN1	2.2	276	6.8
RUN2	2	263	6.5
RUN3	1.7	199	7.4
RUN4	9.4	87~308	48

(なお、試験計画では装置に投入可能な汚染土壌の最大粒径を 25mm としていたが、処理後土壌の搬出装置を空気搬送によるものと変更したため、閉塞等防止のため最大粒径を 10mm とした)

(3) 有効性についての考察

分解率

・PCB 及びダイオキシン類の分解率は以下のとおりであった。

	汚染土壌	系外排出物				分解率 (%)
		処理後土壌	排ガス	処理水	沈殿物	
PCB	100 ~ 14,000 (mg/kg)	定量下限値未満 (< 0.1mg/kg)	0.000081 ~ 0.00032 (mg/m³N)	定量下限値未満 (< 0.0005mg/L)	定量下限値未満 (< 0.1mg/kg)	99.93 ~ 99.9993%
DXNs	1,900 ~ 290,000 [2,000 ~ 290,000] (pg-TEQ/g)	0.0012 ~ 25 [1.5 ~ 25] (pg-TEQ/g)	0.0000071 ~ 0.00035 [0.0040 ~ 0.0054] (ng-TEQ/m³N)	0.025 ~ 0.10 [0.51 ~ 0.57] (pg-TEQ/L)	2.1 ~ 6.5 [4.4 ~ 8.3] (pg-TEQ/g)	99.986 ~ 99.998% [99.94 ~ 99.996%]

(注1): PCB、DXNs の含有量、分解率、除去率等については、検出値が定量下限未満の場合には 2 通りの数値を記載している。検出値を 0 として計算した値を先に記載し、検出値を定量下限値として計算した値を [ ] 内に記載している。(以下同じ。)

(注2): 系外排出物総量とは汚染土壌中の PCB・DXNs 総量を表す。

なお、分解率は、処理システム全体からの系外排出物の PCB 及びダイオキシン類総量から、以下に示す式により求めた。

$$\text{分解率} = \left[ \frac{\text{汚染土壌中の PCB・ダイオキシン類総量} - \text{系外排出物の PCB・ダイオキシン類総量}}{\text{汚染土壌中の PCB・ダイオキシン類総量}} \right]$$

系外排出物：処理後土壌・排ガス・処理水・沈殿物

除去率

・PCB 及びダイオキシン類の除去率は以下のとおりであった。

	汚染土壌	処理後土壌	除去率 (%)
PCB 濃度	100 ~ 14,000 (mg/kg)	定量下限値未満 (< 0.1 mg/kg)	99.93 ~ 99.9993%
DXNs 濃度	1,900 ~ 290,000 [2,000 ~ 290,000] (pg-TEQ/g)	0.0012 ~ 25 [1.5 ~ 25] (pg-TEQ/g)	99.986 ~ 99.99995% [99.94 ~ 99.996%]

なお、除去率は、間接熱脱着処理前後の土壌での PCB・ダイオキシン類総量から、以下に示す式により求めた。

$$\text{除去率} = \left[ \frac{\text{汚染土壌中の PCB・ダイオキシン類総量} - \text{処理後土壌中の PCB・ダイオキシン類総量}}{\text{汚染土壌中の PCB・ダイオキシン類総量}} \right]$$

浄化後の土壌の状況

PCB

本実証試験で用いた汚染土壌及び処理後土壌の PCB 溶出量及び含有量は以下のとおりであった。

	汚染土壌	処理後土壌
PCB溶出量 (mg/L)	0.0023 ~ 0.0019	全て検出下限値未満 (< 0.0005)
PCB含有量 (mg/kg)	100 ~ 14,000	全て検出下限値未満 (< 0.1)

なお、RUN3において、汚染土壌中にはPCBのほか、ヒドロキシPCBや多環芳香族類が検出されたが、処理後土壌のそれらはすべて検出下限値未満であった。また、熱脱着ガス中のクロロベンゼンは0.030mg/m<sup>3</sup>N、クロロフェノールは1.8mg/m<sup>3</sup>N、ヒドロキシPCBは430mg/m<sup>3</sup>Nであったが、酸化処理・冷却・活性炭等を経る前の水蒸気分解ガスの段階ですべて定量下限値未満(<0.01mg/m<sup>3</sup>N)となった。

#### ダイオキシン類

RUN1～RUN4の結果、ダイオキシン類濃度1,900～290,000[2,000～290,000]pg-TEQ/gの汚染土壌が、処理後は0.0012～25[1.5～25]pg-TEQ/gとなった。

#### 重金属類

処理後土壌の中で、鉛の含有(RUN2,3,4)、砒素の溶出(全てのRUN)、ふっ素の溶出(全てのRUN)・含有(RUN1,3,4)が認められた検体があったが、RUN1の砒素、ふっ素の溶出について不溶化処理実験を行った結果、土壤環境基準(砒素0.01mg/L、ふっ素0.8mg/L)を満足した。(不溶化処理前 砒素0.067mg/L、ふっ素1.6mg/L 不溶化処理後砒素0.005mg/L未滿、ふっ素0.56mg/L)

同様に、全ての処理水で砒素、六価クロム等の重金属類が検出されたが、RUN1～4の砒素について重金属の吸着剤による処理実験を行った結果、排水基準(砒素0.1mg/L)を下回った。(吸着処理前0.023～0.44mg/L 吸着処理後0.012～0.026mg/L)

#### 排ガス

水蒸気分解後及び活性炭出口の排ガス中のPCB、ダイオキシン類濃度は下表のとおりであった。

排ガスについて、PCBについては昭和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/m<sup>3</sup>)以下となった。ダイオキシン類についてはダイオキシン類対策特別措置法における廃棄物焼却炉(4t/h以上)の大気排出基準(0.1ng-TEQ/m<sup>3</sup>N)以下となった。

	水蒸気分解後	活性炭出口処理排ガス
PCB濃度(mg/m <sup>3</sup> N)	0.0010～0.0088	0.000081～0.00032
ダイオキシン類濃度(ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)	0.047～0.53	0.0000071～0.00035

#### 処理水

- ・活性炭出口での処理水のPCB濃度は検出下限値未満(<0.0005mg/L)であり、PCB排水基準(0.003mg/L)以下であった。
- ・ダイオキシン類濃度は0.025～0.10pg-TEQ/Lであり、ダイオキシン類対策特別措置法の水質排出基準(10pg-TEQ/L)以下であった。

#### (4) 経済性等についての考察

##### 実用性

- ・安定性

延べ69時間(最長連続運転48時間)運転し、実証試験中の異常停止やその他のトラブルは見られなかった。また、土質や汚染濃度の変動に対しては、RUN4の48時間連続運転において、PCB含有量100～4,200mg/kg、ダイオキシン類濃度1,900～110,000pg-TEQ/g、含水率10.6～29.5%、強熱減量2.2～8.5%と多様な土質・汚染濃度の試料を連続的に処理したところ、処理後土壌のPCB溶出量は0.0005mg/L未滿、PCB含有量は0.1mg/kg未滿、ダイオキシン類濃度は0.0012～3.5pg-TEQ/gと安定的な処理性能が得られた。

- ・安全性

前処理時及び無害化処理時に作業環境測定を行った結果、前処理時のPCB濃度は1.4～23μg/m<sup>3</sup>であり、PCB作業環境管理基準100μg/m<sup>3</sup>以下であった。また、DXNsは5.5～8.7pg-TEQ/m<sup>3</sup>であり、ダイオキシン類作業環境基準2.5pg-TEQ/m<sup>3</sup>を超え、「廃棄物焼却施設内作業におけるダイオキシン類ばく露防止対策要綱(平成13年4月25日付基発第401号の2)」の第3管理区域に相当した。前処理時は、装置に投入

可能な粒径である 10mm 以下に実験試料を分級する作業を実施するが、前処理時の作業環境の測定は、前処理を行なう室内について 2 箇所（分級装置を囲ったミニテント内とミニテント外）について行なった。このため、この作業は管理レベル 3 として適切な曝露防止措置を行なって実施した。

測定項目	単位	前処理・投入室 飛散防止ミニテント内	前処理・投入室 飛散防止ミニテント外	基準値
PCB (粉じん状)	μg/m <sup>3</sup>	0.21	0.14	100
PCB (ガス状)	μg/m <sup>3</sup>	23	1.3	
PCB (合計)	μg/m <sup>3</sup>	23	1.4	
ダイオキシン類 (粉じん状)	pg-TEQ/m <sup>3</sup>	6.3	3.5	2.5
ダイオキシン類 (ガス状)	pg-TEQ/m <sup>3</sup>	2.4	2.0	
ダイオキシン類 (合計)	pg-TEQ/m <sup>3</sup>	8.7	5.5	
粉じん	mg/m <sup>3</sup>	0.22	0.12	

また、無害化処理時についても汚染土投入室（2 箇所、前処理室と同じ部屋を使用）無害化処理室及び浄化土詰込室について作業環境の測定を行なったところ、汚染土投入室は前処理時と同様に第 3 管理区域に相当する結果であるため、投入作業は管理レベル 3 として適切な曝露防止措置を行なって実施した。

前処理・投入室からの建屋排気は集塵機で浄化して排出した。その結果は、PCB、ダイオキシン類濃度ともに排ガス基準値を下回ることを確認した。

測定項目	単位	前処理時	無害化処理時 (RUN1 ~ RUN4)
PCB 濃度	μg/m <sup>3</sup>	全て定量下限値未満 ( < 0.0025 )	全て定量下限値未満 ( < 0.0025 )
ダイオキシン類濃度	ng-TEQ/m <sup>3</sup>	0.00057	0.0013 ~ 0.0028
粉じん濃度	mg/m <sup>3</sup>	0.023	0.005 ~ 0.009

#### 経済性

##### ・効率性

実証試験全体のエネルギー効率 は 4,400 ~ 13,200MJ/t、作業量は 0.0059 ~ 0.060t/人・h であった。なお、エネルギー効率は汚染土の投入速度に大きく影響を受ける。最も処理量の少ない RUN4 汚染土（87kg/h）においては 13,200MJ/t であるのに対し、システムの定格（300kg/h）とほぼ等しい RUN4 汚染土（296kg/h）での実績は 4,600MJ/t であった。

##### ・経済性

実証試験では、処理能力 300kg/h の施設で合計 15.3t の土壌を処理したが、それに要した費用は、PCB・ダイオキシン類の挙動や副生成物など詳細項目まで調査したため、259 万円/t であった。なお、分析項目を公害防止条例等に準じた頻度・項目とした場合では 28 万円/t 程度と考えられる。

また、実証試験結果をもとに、実規模での処理（処理土壌 10,000t）、分析項目を公害防止条例等に準じた場合、本実証試験に用いたシステムを 3 系列同時に定格運転した場合を想定し、処理費用を試算した結果は約 9 万 3 千円/t である（別紙参照）。

#### (5) 周辺環境への負荷

##### 環境大気

試験施設周辺大気中の PCB、ダイオキシン類濃度の測定結果は下表のとおりである。実証試験前・中・後いずれも昭和 47 年 12 月 22 日環大企第 141 号で示されている環境大気中の PCB の暫定環境濃度（0.5 μg/m<sup>3</sup>）及びダイオキシン類の大気環境基準（0.6pg-TEQ/m<sup>3</sup>）以下であった。

	実証試験前	実証試験中	実証試験後
PCB濃度 (μg/m <sup>3</sup> )	0.0015 ~ 0.0021	0.00044 ~ 0.0013	0.00033 ~ 0.00058
ダイオキシン類濃度 (pg-TEQ/m <sup>3</sup> )	0.056 ~ 0.071	0.014 ~ 0.034	0.013 ~ 0.026

## 処理後土壌

処理後土壌はセメント原料として再利用した。

## 騒音

試験実施時で 53～65dB(A)であった。(振動は実施せず。)

## 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 1 t あたり 381kg/t であった(別紙参照)。

## 検討会概評

本技術は、PCB やダイオキシン類の汚染土壌を間接加熱し、揮散された対象物質を水蒸気存在下で分解(約 1,100 で 3 秒間以上)する技術である。この間接熱脱着・水蒸気分解法の実証試験は、4箇所汚染サイトから回収された PCB 汚染土壌 5 検体(PCB 濃度 100～14,000mg/kg)に対して行われた。分解率は、PCB とダイオキシン類に対して、99.9%以上が得られ、環境排出も抑制できている。実用性の視点からは、以前の処理能力 50kg/h から 300kg/h にスケールアップした規模で実証がなされたことで、実用レベルでの確認がなされたと評価できる。

## 別紙(間接熱脱着 + 水蒸気分解法)

## 費用の算出

## 実証対象技術のコストについて

コスト計算にあたっては、実証試験とは別に以下の項目を前提条件として計算を行っている。

- ・ 汚染土壌の量：10,000 t
- ・ 処理速度：0.9 t/h (0.3 t/h × 3 システム設置)
- ・ 汚染土壌中 PCB 濃度：10,000 mg/kg
- ・ 汚染土壌の含水率：20wt%
- ・ 汚染土壌の有機物含有量：3wt%
- ・ 装置減価償却期間：7 年 (定額法)
- ・ 処理形態：オフサイト処理
- ・ 稼働条件：24 時間/日、11 日間/クール、22 クール/年、242 日/年
- ・ メンテナンス頻度：2 日間/クール
- ・ エネルギー単価：電力 (15 円/kWh)、LPG (68 円/kg)
- ・ モニタリング頻度：公害防止条例等に準じた項目・頻度
- ・ 人員配置：
  - 無害化処理関係：作業員 4 名、技術員 1 名 (各 3 交代制)
  - 前処理関係：作業員 2 名 (昼間のみ)
  - メンテナンス関係：作業員 4 名 (昼間のみ)

## (試算に含む経費区分)

無害化設備・安全設備 (集塵機・エアーシャワー) の減価償却費、電力費、用水費、燃料費、アルカリ費、修繕維持費、消耗品費、人件費、

## (試算に含まれていない経費区分)

基礎、建屋、土地取得費、浄化土壌の処理費、土壌掘削費、土壌運搬費、分析設備費、出張費、赴任費、無害化設備の撤去費、無害化設備の設置に関わる手続費 (環境アセスメント、建築確認など)

本実証試験から得られたデータを基に、上記条件により処理コストを算出した結果を以下に示す。

総費用	930 百万円
単位土壌量当たりの費用	93 千円 / t

CO<sub>2</sub>の排出量の算出

## 実証対象技術の二酸化炭素排出量について

二酸化炭素排出量計算にあたっては以下のような条件を前提として計算を行っている。

汚染対象となる土壌の量	10,000t
処理日数	23 ヶ月

CO<sub>2</sub> 排出量はエネルギー原単位と排出係数（電力：0.378 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、LPG：3.00 kg-CO<sub>2</sub>/kg）および土壌中の揮発性炭素（2.5wt%）がすべて CO<sub>2</sub> に転換した場合の合算値を本実証試験から得られたデータを基に算出した。

・電力に由来する排出量

消費電力量：2,574,324kWh

CO<sub>2</sub> 排出量：0.378kg-CO<sub>2</sub>/kWh × 2,574,324kWh = 974t-CO<sub>2</sub>

・LPG に由来する排出量

消費 LPG 量：638,514kg

CO<sub>2</sub> 排出量：3.00kg-CO<sub>2</sub>/kg × 638,514kg = 1,916t-CO<sub>2</sub>

・土壌中の揮発性炭素に由来する排出量

揮発性炭素量：250,000kg

CO<sub>2</sub> 排出量：44/12 × 250,000kg = 920t-CO<sub>2</sub>

総排出量	3810t
単位土壌量当たりの排出量	381kg/t