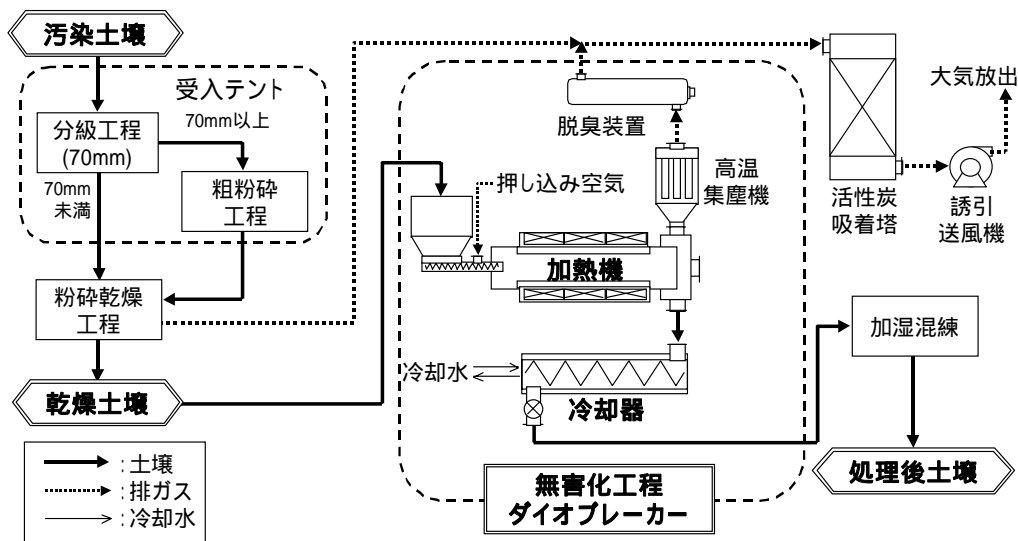


平成17年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査対策技術検討調査  
及びダイオキシン類汚染土壤浄化技術等確立調査結果

代表機関名		技術の名称	
三井造船株式会社		間接加熱酸化分解法	
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	加熱分解	ポリ塩化ビフェニール(PCB)	現場外

(技術の原理)

本技術は、汚染土壤を加熱温度 450～600℃、滞留時間 20～40 分で間接加熱し、汚染土壤中の PCB およびダイオキシン類 (DXNs) の脱塩素化、酸化による芳香族環の開環、酸素架橋の切断により無害化するものである。通常 PCB および DXNs 単体では 700℃以上で分解が始まるが、土壤中の金属酸化物、金属塩化物等の触媒作用により 450～600℃の温度域で、脱塩素化や分解が始まる。



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

キルン型間接加熱機を用いることにより、大量に連続処理が可能であり、装置が比較的コンパクトであるとともに、オンサイトでの浄化処理が可能である。また、加熱温度が 450～600℃であり、比較的低温での処理が可能である。

調査結果の概要

(1) 処理量

汚染土壤受入量：1,614.3kg-wet (湿重量)、粉碎乾燥機投入土壤量：1,161.3kg-wet、粉碎乾燥後汚染土壤量：888.0kg-dry(乾重量)[無害化処理量(加熱機投入土壤量)：624.3kg-dry、分析用試料量：約 18kg-dry、残保管試料：約 246kg-dry]

(2) 試験条件

試験の目的

PCB 汚染土壤浄化における本技術の有効性、経済性及び周辺環境への負荷等の検証を行うものである。具体的には以下のとおり。

無害化工程における加熱機ヒーター温度、加熱段数を変え、4 条件での無害化試験を行い、PCB、DXNs 無害化性能の比較と実証を行う。

さらに、上記 4 条件のうち 2 条件について再試験を行い、試験結果の再現性を確認する。実証調査中の作業環境、周辺環境について調査を行い、本技術が周辺環境に与える影響度を把握する。

本技術の経済性、消費エネルギー、CO<sub>2</sub>排出量の検証を行う。

### 試験条件

	無害化工程				
	加熱機投入土壌量	処理速度	処理時間	ヒータ温度	加熱段数
Run1	107.5kg-dry ( 108.4 kg-wet )	15.1 kg/h	7.2 h	500	1 段
Run2	115.7 kg-dry(116.6 kg-wet )	15.6 kg/h	7.5 h	500	2 段
Run3	103.5kg-dry(104.4 kg-wet )	15.1 kg/h	6.9 h	600	1 段
Run4	103.9kg-dry(104.7 kg-wet )	15.9 kg/h	6.6 h	600	2 段
Run5	97.8kg-dry(98.2 kg-wet )	15.4 kg/h	6.4 h	500	1 段
Run6	96.0kg-dry (96.4 kg-wet )	15.3 kg/h	6.3 h	600	1 段
合計	624.3 kg-dry (628.7 kg-wet )	-	-	-	-

### (3) 有効性についての考察

#### 分解率

前処理工程と無害化工程を分けて実験しており、それぞれ別々の排ガス処理工程を有しているが、分解率は、前処理（粉碎乾燥）工程、無害化（加熱・冷却）工程及び排ガス処理工程が一連になった場合を想定し、前処理工程投入土壌、無害化工程処理土壌、各工程の活性炭吸着塔出口排ガス中の PCB 濃度及び DXNs 濃度、各所の土壌量及び排ガス量から、以下に示す式により求めた。

$$\text{分解率} = [1 - ( \quad + \quad ) \div \quad ]$$

：処理後土壌中の PCB 総量または DXNs 総量

：前処理工程の活性炭吸着塔出口排ガス中の PCB 総量または DXNs 総量

：無害化工程の活性炭吸着塔出口排ガス中の PCB 総量または DXNs 総量

：前処理工程投入汚染土壌中の PCB 総量または DXNs 総量

・ PCB 分解率及び DXNs 分解率は以下のとおりであった。

	前処理工程投入汚染土壌	処理後土壌	活性炭出口排ガス（前処理工程後）	活性炭出口排ガス（無害化工程後）	分解率（%）
PCB 濃度	210[210] (mg/kg)	0.0015 ~ 0.052 [0.0021 ~ 0.056] (mg/kg)	0.00052 [0.00053] (mg/m <sup>3</sup> N)	0.000029 ~ 0.000074 [0.000047 ~ 0.000089] (mg/m <sup>3</sup> N)	99.98 ~ 99.997% [99.97 ~ 99.997%]
DXNs 濃度	8,600[9,000] (pg-TEQ/g)	0.029 ~ 6.4 [3.9 ~ 11] (pg-TEQ/g)	0.016[0.023] (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)	0.00043 ~ 0.0053 [0.045 ~ 0.062] (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)	99.93 ~ 99.998% [99.89 ~ 99.96%]

(注) PCB、DXNs の含有量、分解率、除去率等については、検出値が定量下限値未満の場合には 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。)

#### 除去率

除去率は無害化工程でのキルン型間接加熱機前後における土壌中の PCB 濃度及び DXNs 濃度から、以下に示す式により求めた。

$$\text{除去率} = [1 - ( \text{処理後土壌中の PCB、DXNs 濃度} \div \text{加熱機投入汚染土壌中の PCB、DXNs 濃度} )]$$

・ PCB 除去率及び DXNs 除去率は以下のとおりであった。

	加熱機投入汚染土壌	処理後土壌	除去率（%）
PCB 濃度	170 ~ 250[180 ~ 260] (mg/kg)	0.0015 ~ 0.052 [0.0021 ~ 0.056] (mg/kg)	99.97 ~ 99.9991% [99.97 ~ 99.999%]

DXNs 濃度	6,300 ~ 7,000 [6,300 ~ 7,000] (pg-TEQ/g)	0.029 ~ 6.4 [3.9 ~ 11] (pg-TEQ/g)	99.90 ~ 99.9996% [99.84 ~ 99.94%]
---------	--	---	--------------------------------------

- ・汚染土壤中の PCB 溶出量でみると、加熱機投入汚染土壤では 0.0002 ~ 0.0028mg/L であったものが、処理後土壤では定量下限値未満 (<0.0001mg/L) となった。
- ・試験条件の違いで比較したところ、分解率、除去率ともにキルン型間接加熱機の段数の違いによる有意な差は認められなかった。
- ・一方、処理温度が高い方 (600 ) が分解率・除去率が若干高い結果となった。

#### 排ガス

排ガス処理工程における活性炭吸着塔出口排ガス(大気放出)中の PCB 濃度及び DXNs 濃度は以下のとおりであった。

	前処理工程	無害化工程
PCB 濃度 (mg/m <sup>3</sup> N)	0.00052[0.00053]	0.000029 ~ 0.000074 [0.000047 ~ 0.000089]
DXNs 濃度 (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)	0.016[0.023]	0.00043 ~ 0.0053 [0.045 ~ 0.062]

#### ・ PCB

前処理 (粉砕乾燥) 工程及び無害化 (加熱・冷却) 工程から排出される排ガス中 PCB 濃度は、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> ) 以下であった。

#### ・ DXNs

同上の 2 つの工程から排出される排ガス中の DXNs 濃度は、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 ) 以下であった。

#### 排水

排水は発生しない。

### ( 4 ) 経済性等についての考察

#### 実用性

実証試験では汚染土壤の土質、性状において、「含水率 80%以下、強熱減量 25%以下」の制限を設けた。また、粉砕乾燥機の投入条件として「粒径 70mm 以下」の制限があるが、実施では粗粉砕機を導入して粉砕乾燥を行う予定である。

#### ・ 安定性

前処理工程は延べ 15.5 時間 (最長連続運転:7.6 時間)、無害化工程は延べ 40.8 時間 (最長連続運転:7.5 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。

#### ・ 安全性

実証試験では安全を鑑みて PCB 廃棄物の処理作業等における安全衛生対策要綱の管理レベル 2 の保護具を着用して作業を行った。

実証調査中の作業環境測定の結果、前処理工程 (B 測定\*1 については汚染土壤をフレコンバッグより取り出す作業及び篩い分け作業を実施する場所付近で、A 測定\*2 については作業区域内で 6 点測定を行った) では PCB 濃度は定量下限値である 0.01mg/m<sup>3</sup> 未満であったが、DXNs 濃度が 3.6pg-TEQ/m<sup>3</sup> であり、PCB 廃棄物の処理作業等における安全衛生対策要綱の管理レベル 2 の保護具の着用が必要であった。

無害化工程においては PCB 濃度は定量下限値である 0.01mg/m<sup>3</sup> 未満、DXNs 濃度は 1.3pg-TEQ/m<sup>3</sup> であり、PCB 廃棄物の処理作業等における安全衛生対策要綱の管理レベル 1 の保護具の着用で十分であった。

\*1: 単位作業場所において、労働者が最も大きなばく露を受ける危険性が高いと判断される場所に

おける気中有害物質の濃度を把握するための測定

\*2：単位作業場所における気中有害物質の平均的な状態を把握するための測定

#### 経済性

実証試験及び実規模試算(汚染土壌量 10,000t、含水率 20%、嵩密度 1.5t/m<sup>3</sup>、PCB 含有量 1,000mg/kg)により経済性を検討した。

#### 効率性

- ・エネルギー効率は前処理工程と無害化工程を通じた実証試験全体では 3,640MJ/t、実規模試算では 3,400MJ/t であった。
- ・実証試験の分級作業を含む前処理工程の作業量は 0.052t/h・人、無害化工程の作業量は 0.0077t/h・人であった。

#### 経済性

- ・実証試験では、合計 1,614.3kg-wet の土壌を受け入れ、前処理工程の処理能力が約 75kg-wet/h、無害化工程の処理能力が約 15kg-wet/h の施設で処理を行ったが、実証試験に要した処理費用は性能等を把握するため種々のデータ等を取得したために 1,230 万円/t となった。
- ・実証試験結果をもとに、実規模での処理費用を試算した結果は約 7.0 万円/t であった(別紙参照)。

### (5) 周辺環境への負荷

#### 環境大気

- ・無害化工程の実証試験中の周辺環境大気測定結果は、PCB 濃度が 0.00019 μg/m<sup>3</sup> であり、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>) 以下であった。
- ・同じく無害化工程での DXNs 濃度は 0.029pg-TEQ/m<sup>3</sup> であり、大気環境基準( 0.6pg-TEQ/m<sup>3</sup>) 以下であった。
- ・また、実証調査中に悪臭の発生はなかった。

#### 排水

- ・排水処理が必要となるような排水の発生はなかった。

#### 乾燥・無害化処理不適物

- ・汚染土壌 1,614.3kg-wet から 453kg-wet の処理不適物(篩い分け作業で選別された大径物等)が発生したが、陸上埋立基準と土壌環境基準以下であった。

#### 騒音

- ・騒音は無害化工程の屋内で 74dB(A)、屋外の誘引送風機近傍で 68dB(A)、実験場敷地境界で 63dB(A)であった。
- ・屋外の誘引送風機近傍の騒音について騒音の距離減衰式から、昼間の騒音環境基準値 55dB(A)(主に住宅地の場合)となる音源からの距離を推定したところ 9m となった。
- ・振動の測定は実施しなかった。

#### 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 あたり実規模試算では 270kg/t であった(別紙参照)。

### 検討会概評

本技術は、間接加熱ロータリーキルンを用いて汚染土壌中の PCB、ダイオキシン類を脱塩素化等により無害化するものであり、連続処理が可能で装置が比較的コンパクトであるとともにオンサイトでの浄化処理が可能である。

分解率は、PCB が 99.98 ~ 99.997% [99.97 ~ 99.997%]、ダイオキシン類が 99.93 ~ 99.998% [99.89 ~ 99.96%] であり、加熱段数による優位な差は認められなかった。周辺環境大気中の PCB 濃度、ダイオキシン類濃度は、環境中の PCB の暫定環境濃度以下、ダイオキシン類対策特別措置法の大気環境基準以下であった。

粉碎・乾燥機及び無害化試験機は実機の納入実績があるが、前処理工程と無害化工程を個別に実施したシステムであった。実機に向けて、前処理工程と無害化工程の統合やプロセス全体の自動化・省力化による効率的なシステムを構築することが望まれる。

別紙（間接加熱酸化分解法）

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。

・ 土壌の量および性状	
浄化対象となる土壌の量	10,000t
含水率および嵩密度	20% , 1.5t/m <sup>3</sup>
粗粉碎を要する土壌	28%
PCB 濃度（最大）	1,000mg/kg
・ 処理能力および処理時間	
処理速度	2.4 t/h
処理時間	4,167h
処理日数	6 ヶ月（174 日）

工費の概略試算範囲

試算範囲：汚染土壌の掘削から無害化処理後の処理土壌の埋戻まで（但し、基礎、建屋、土地取得費は試算の範囲外）

掘削は仮設テント内で行い、埋戻は加熱処理に伴い土壌量が減少するので 2,000t 程度の埋戻土を購入する。

設備費については耐用年数を 5 年と想定し、処理及び設置から撤去までの合計期間の減価償却分（1 年間分）を処理費用に積算

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	700,000 千円
単位土壌量当たりの費用	70 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	6 ヶ月（174 日）

概略試算範囲は 1.費用の比較と同じとした。

10,000t の汚染土壌を処理した場合のエネルギー使用量(当社設計値)は以下となる。

電力使用量	2,610,000kWh
灯油使用量	680,000L
軽油使用量	3,700L

上記の各エネルギー使用量から “地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条（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。

総排出量	2,700 t
単位土壌量当たりの排出量	270kg/t