

平成18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[共同研究機関名]		技術の名称	
大旺建設(株)[西松建設(株)]		過熱蒸気による還元分解法	
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	加熱分離+加熱分解	ダイオキシン類 (DXNs)・ポリ塩化ビフェニール(PCB)	現場外
<p>(技術の原理)</p> <p>本技術は、DXNs 汚染土壤及び PCB 汚染土壤を間接加熱（加熱温度 500～700℃）するとともに過熱蒸気（常圧で 100℃以上の水蒸気）を用いることにより、DXNs・PCB をガス化・分離させる。そのガスを過熱蒸気と共に反応器に導き、加水分解を主とする反応により DXNs・PCB の大部分を CO、H₂、HCl、CO₂、H₂O まで分解・無害化する処理方法である。なお、HCl はバブリングタンクにおいて中和処理される。</p>			
<p style="text-align: center;">処理フローの概略図</p>			

技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方

過熱蒸気による還元分解法は、①過熱蒸気を用いて、ベンゼン環を開裂、無害化する技術であること。②構造がシンプルであり、装置がコンパクトであること。③固体、液体、気体の全てに対応可能であり適用範囲が広いこと。④加熱温度が比較的低温（500℃～700℃）で浄化できることにより、投入エネルギーの減少による処理コストの低減及び CO₂ 排出量の減少による環境負荷の低減につながる特徴がある。

調査結果の概要

(1) 実証試験方法

① 実証試験条件

実験名	実験 A		実験 B		実験 C		実験 D		
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2	D-3
目的	処理時間による効果確認 (1 時間運転)		処理温度による効果確認 (1 時間運転)		連続処理による効果確認 (6 時間運転)		処理時間による効果確認 (1 時間運転)		連続処理による効果確認 (6 時間運転)
対象物質	DXNs					PCB			
ガス化滞留時間	30 分	20 分	30 分	30 分	30 分	20 分	30 分	20 分	30 分
ガス化加熱温度	700℃	700℃	600℃	500℃	700℃	500℃	700℃	700℃	700℃

② 処理状況等、モニタリング方法

処理フロー概略図中の A、B において処理前後の土壤の物理組成（含水率、強熱減量、粒度分布、CHN 分析）、DXNs、PCB、重金属の測定を行った。処理中のガスは、反応器の前後及び活性炭前後（C～F）にて DXNs、PCB の測定を行った。排水（G）では DXNs、PCB 及び SS、排水中沈殿物（H）では DXNs、PCB 及び重金属の測定を行った。

(2) 土壌の処理量及び性状等

汚染土壌の種類	処理量	濃度 (含有量)	濃度 (溶出量)
DXNs 汚染土壌	実験 A, B	334.2kg	52,000~93,000pg-TEQ/g
	実験 C	753.9kg	1,900~3,200pg-TEQ/g
PCB 汚染土壌	実験 D-1, 2	163.7kg	5.0~6.0mg/kg
	実験 D-3	445.8kg	5,800mg/kg

(3) 有効性についての考察

①分解率

実証試験の結果、DXNs 及び PCB の分解率は以下のとおりであった。

種類	汚染土壌	系外への排出物				分解率 (%)
		処理後土壌	排ガス	排水	沈殿物	
DXNs 汚染土壌	1,900~93,000 (pg-TEQ/g)	定量下限値未満~27 [1.5~28] (pg-TEQ/g)	0.00032~0.28 (ng-TEQ/m ³ N)	1.6~6.7 [2.0~8.2] (pg-TEQ/L)	64~4,600 (pg-TEQ/g)	99.89~99.998 [99.87~99.993]
PCB 汚染土壌	5.0~5,800 (mg/kg)	定量下限値未満~2.4 [1.0~2.4] (mg/kg)	0.0000051~0.091 (mg/m ³)	定量下限値未満~0.000022 (mg/L)	0.012~1.7 (mg/kg)	99.96~99.9989 [82.1~99.96]

注：DXNs、PCB の含有量、分解率、除去率については、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。) なお、分解率は DXNs、PCB の総量から算出した。

分解率 (%) = {1-(b÷a)} × 100 a: 投入汚染土壌中の PCB 総量または DXNs 総量

b: (処理後土壌中+排ガス中+排水中+沈殿物中) の PCB 総量または DXNs 総量

②除去率

実証試験の結果、DXNs 及び PCB の除去率は以下のとおりであった。

種類	汚染土壌	処理土壌	除去率 (%)
DXNs 汚染土壌 (pg-TEQ/g)	1,900~93,000	定量下限値未満~27 [1.5~28]	99.95~100 [99.92~99.997]
PCB 汚染土壌 (mg/kg)	5.0~5,800	定量下限値未満~2.4 [1.0~2.4]	99.96~100 [82.1~99.96]
PCB 汚染土壌 (mg/L)	定量下限値未満~0.0026	全て定量下限値未満	—

注：除去率については、ガス化処理工程前後での土壌中 DXNs、PCB の総量から、以下の式に基づき計算した。除去率は DXNs、PCB の総量から算出した。

除去率 (%) = {1-(b÷a)} × 100 a: 汚染土壌中 DXNs または PCB の総量

b: 処理土壌中 DXNs または PCB の総量

③排ガス

活性炭出口 (測定箇所 F) の排ガス中 DXNs 及び PCB 濃度は、それぞれ 0.00032~0.28ng-TEQ/m³N、0.0000051~0.091mg/m³ であった。実験 B の B-2Run での DXNs 濃度が 0.28ng-TEQ/m³N 検出された以外は、処理能力が 4t/h 以上の廃棄物焼却炉に適用される大気排出基準 (≦0.1ng-TEQ/m³N) 及び昭和 47 年 12 月 22 日環大企第 141 号で示されている排ガス中 PCB の暫定排出許容限界 (≦0.15mg/m³) 以下であった。

④処理水

凝集沈殿後の排水中 DXNs 及び PCB 濃度はそれぞれ 1.6~6.7pg-TEQ/L、定量下限値未満~0.000022mg/L であった。ダイオキシン類対策特別措置法での水質排出基準 (≦10pg-TEQ/L) 及び PCB 排水基準 (≦0.003mg/L) 以下であった。

(4) 経済性等についての考察

①実用性

○安定性

延べ 28.1 時間 (最長連続運転時間 6.2 時間) 運転した。A-1RUN から D-3RUN まで処理時間や処理温度等の条件を変えながら実施したが、実証試験中のトラブルは発生しなかった。処理土壌中の DXNs 及び PCB 濃度は、それぞれ 0.027~27pg-TEQ/g、定量下限値未満~2.4mg/kg

と安定的な性能を得た。ただし、ガス化装置の加熱温度が 500℃の場合、処理土壌は環境基準以下であったが、1RUN(実験 B-2)で系外への排出物のうち排ガス中の DXNs 濃度が排出基準を超過したり、沈殿物の DXNs 含有量が土壌環境基準を超える実験ケースもあった。

○安全性

作業環境モニタリングの結果、実証試験前における装置を覆うテント内での A 測定^{*1}の第 1、第 2 評価値及び B 測定値^{*2}の DXNs 濃度は、それぞれ 0.74 pg-TEQ/m³、0.29 pg-TEQ/m³、0.58 pg-TEQ/m³ であった。実証試験中においては、それぞれ 0.66～1.5pg-TEQ/m³、0.27～0.62pg-TEQ/m³、0.25～0.52pg-TEQ/m³ であった。

これは「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 1 管理区域に相当する。

※1：単位作業場所における気中有害物質濃度の平均的な状態を把握するための測定

※2：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濃度の測定

②経済性

○効率性

①エネルギー効率：今回、含水率 12.7%～16.4%の湿潤土壌を 1,697.5kg 受け入れ、乾燥重量で 1,440.1kg 処理した。必要単位エネルギーは全平均で 2.98MJ/kg であり、全投入エネルギーは 5,055MJ であった。

②作業効率：今回の実証実験における作業効率は、全工程では 14.7kg/人・h、前処理工程で 70.7kg/人・h、無害化処理工程では 18.5kg/人・h であった。

○経済性

今回の実証実験における費用は、32.7 千円/kg であった。しかし、今回の実証実験の分析費は、公害防止条例等に準じた頻度・項目と比較しても非常に多く、また詳細項目まで調査した結果である。実際の浄化工事においては、公害防止条例等に準じた頻度・項目とした場合、1t/h 装置を 3 台並列運転し、8h/日の条件を仮定して試算した結果は 69 千円/t となった。

(5) 周辺環境への負荷

①環境大気

実証試験前及び実証試験中の周辺大気中 DXNs 濃度は、それぞれ 0.040～0.059pg-TEQ/m³、0.048～0.058pg-TEQ/m³ で、ダイオキシン類の大気環境基準 (≤0.6pg-TEQ/m³) 以下であった。周辺大気中 PCB 濃度は、それぞれ 0.000087～0.00057 μg/m³、0.00021～0.00052 μg/m³ で、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 暫定環境濃度 (≤0.5 μg/m³) 以下であった。悪臭は、実証試験前及び実証試験中とも臭気指数 10 未満であった。

②騒音

騒音の発生源は発電機及び装置内を負圧に保ちかつ排ガスを排出するための排風機である。騒音が最も大きいと思われる発電機から最短距離の敷地境界（発生源からの距離約 10m）で最大 53dB(A) であった。

③二酸化炭素排出量

エネルギー消費量より求めた本技術の CO₂ 排出量は 459kg-CO₂/t であった。

検討会概評

本技術は、DXNs 汚染土壌及び PCB 汚染土壌をガス化装置で間接加熱するとともに過熱蒸気を用いてそれらをガス化・分離し、ガス化した DXNs、PCB については過熱蒸気を吹き込んだ反応器で分解・無害化するものである。

DXNs、PCB の除去の有効性については、DXNs99.8%以上、PCB99.9%以上の分解率が得られた。ただし、実験 B-2Run（ガス化装置加熱温度 500℃）において、活性炭出口排ガス中 DXNs 濃度が 0.28ng-TEQ/m³N となり、処理能力が 4t/h 以上の廃棄物焼却炉に適用される大気排出基準 (≤0.1ng-TEQ/m³N) を上回った。このことを踏まえ、反応器を含めたガス処理部分において、安定して十分な分解あるいは除去が得られるよう、滞留時間等の設計諸元や処理性能の検討を行うことが必要と考えられる。なお、本調査では、反応器に導入する前段のガス化装置において、投入された DXNs あるいは PCB 量の約 55%から 100%の分解が観察された。

環境保全面については、周辺環境中の DXNs 濃度及び PCB 濃度は、それぞれダイオキシン類大気環境基準 (≤0.6pg-TEQ/m³)、PCB 暫定環境濃度 (≤0.5 μg/m³) 以下であった。

別紙（過熱蒸気による還元分解法）

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

	DXNs 濃度 (pg-TEQ/g)	PCB 濃度	
		含有量 (mg/kg)	溶出量 (mg/L)
汚染土壌濃度	100,000	5,000	0.005
目標処理濃度	<50	<0.01	<0.0005

- 処理量 (t) : 10,000t
- 処理能力 (t/h) : 1t/h・基×3基
- 運転時間 (h) : 8h/日
- 稼働日数 (日) : 425日
- 処理時間 (月 or 年) : 21ヶ月 (1.7年)
- 処理条件 : (ガス化装置) 加熱温度 600℃、滞留時間 20分
- 減価償却期間 (年) : 7年

工費の試算範囲内： ランニングコスト（動力・用水・光熱費、薬剤費、人件費等）設備設置に要する費用、モニタリング費用等

工費の試算範囲外： 設備撤去費、汚染土壌掘削・運搬等土工費、処理土壌処分費

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	690,000	千円
処理単価	69,000	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。

汚染対象となる土量	10,000t
処理時間	21ヶ月 (1.7年)

概略試算範囲は、1. 費用の算出と同様とした。

当該技術では、処理装置全体（処理装置と水蒸気発生装置）において、電気を使用しており、その使用量の合計が環境負荷に相当する。10,000tの土壌を処理した場合のエネルギー使用量は、今回の実証実験から得られたデータを基に算出すると、8,270,000kwhとなる。

この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。

総排出量	4,590 t
排出原単位	459 kg/t