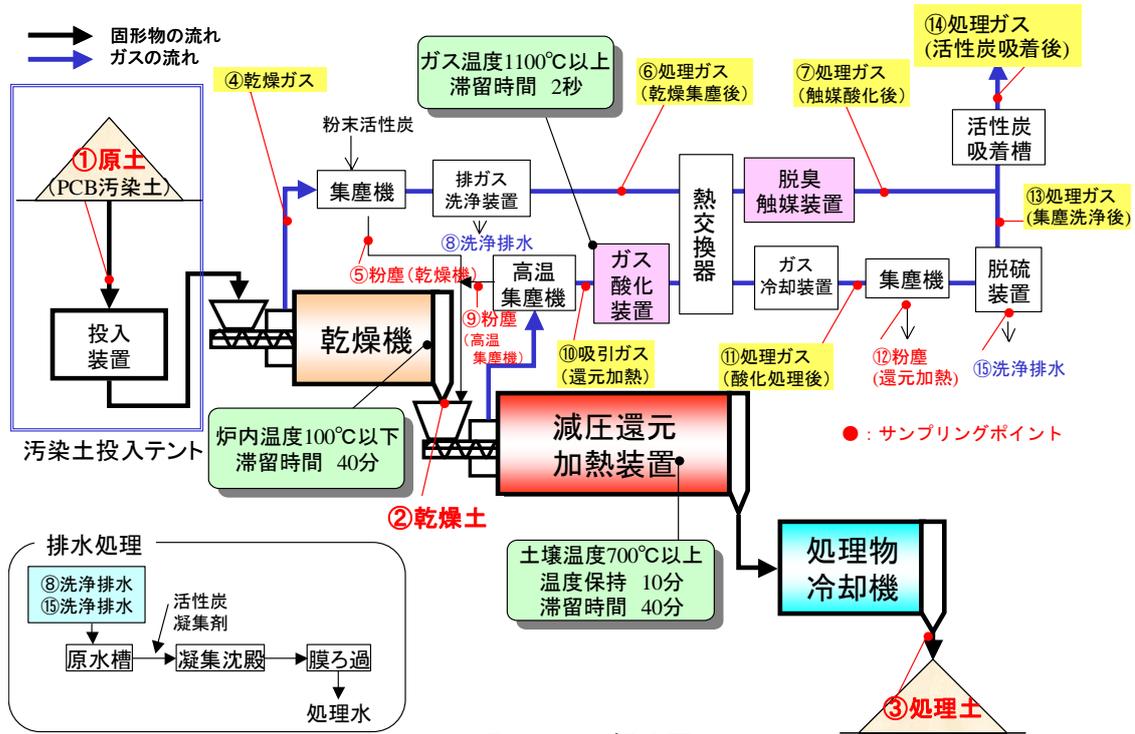


平成18年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査対策技術検討調査 及びダイオキシン類汚染土壤浄化技術等確立調査結果

代表機関名[共同研究機関名]		技術の名称	
株式会社竹中工務店[株式会社竹中土木]		減圧還元間接加熱分解法 (ダイオ・スーパード)	
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	ポリ塩化ビフェニール (PCB)・ダイキシン類 (DXNs)	現場外

(技術の原理)

本技術は、PCB 及びDXNs に汚染された土壤を、低酸素還元状態において 600~700℃で間接加熱することにより PCB、DXNs を分解する技術である。全体システムは、乾燥機・減圧還元加熱装置・各排ガス処理装置より構成される。汚染土壤の処理により発生する排ガスを確実に分解処理し、周辺環境への二次影響を防止している。



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

連続処理が可能な間接加熱回転ドラム式とし、乾燥工程と高温加熱工程を分離することで、高温加熱処理効率を向上させ処理の信頼性を高め、移設可能な大型オンサイト処理システムとすることで、処理コストの低減を図る。

調査結果の概要

(1) 実証試験方法

1) 実証試験条件

実証実験条件の当初計画および実施結果を右表に示す。本試験では、RUN1 と比べ RUN2 では処理速度を大きくし、RUN3 では処理温度を低くして、それぞれの土壤の処理状況の確認及び処理コストの低減可能性の検討を行う計画とした。

実験No	還元加熱処理 土壤温度[℃]		平均処理速度 [kg/h]		投入時間 [h]		総処理量 [kg]	
	計画	実績	計画	実績	計画	実績	計画	実績
RUN1	700	714	1,000	1,074	5.0	4.9	5,000	5,261
RUN2	700	766	2,000	1,974	5.0	5.0	10,000	9,870
RUN3	※570	793	2,000	1,795	5.0	5.6	10,000	10,054
※ 本文参照							25,000	25,184

2) 処理状況等、モニタリング方法 など

準備した汚染土を、RUN1 は 1,074kg/h で所定の連続 5 時間投入した。RUN2、RUN3 では、投入後ともに約 3 時間後に発生した搬送装置の土の詰まりによる一時中断をはさみ、RUN2 は 1,974kg/h、RUN3 は 1,795kg/h で各々延べ 5 時間投入した。RUN2 で一時中断が生じたため RUN3 は RUN2 と同条件とし(※)、RUN1~3 で、乾燥機炉内温度 100℃以下、減圧還元加熱装置内土壌温度 700℃以上、排ガス酸化装置加熱温度 1,100℃以上に設定し、実験を実施した。

(2) 土壌の処理量及び性状等

1) 処理量 25 t 2) 性状 砂質土 (粒径 20mm 以下、含水率 10.4~18%)

(3) 有効性についての考察

RUN1 (1.0t/h×5h) は当初の計画通り実験を実施できた。しかし、RUN2、RUN3 (2.0t/h×5h) では上述のように試料投入が一時中断する時間が生じたため、⑭処理ガスの PCB・DXNs 濃度は減圧還元加熱装置内部の土壌試料の充填率に比例するとし、トラブル時の土壌試料の排出に伴う減圧還元加熱装置内部の土壌試料充填率の低下にあわせて測定値を補正し、ガス濃度を推定した。主たる結果を下表に示す。

測定項目	実験ケース	①原土(PCB汚染土)					③処理土					除去率				
		乾燥重量		PCB・DXNs濃度		PCB・DXNs量	乾燥重量		PCB・DXNs濃度	目標値	PCB・DXNs量					
PCB (溶出)	RUN1	-	-	0.006	mg/L	-	-	<0.0005	mg/L	<0.0005	○	-	-			
	RUN2	-	-	0.70	mg/L	-	-	<0.0005	mg/L	<0.0005	○	-	-			
	RUN3	-	-	0.016	mg/L	-	-	<0.0005	mg/L	<0.0005	○	-	-			
PCB (含有)	RUN1	4,713	kg	773	mg/kg	3,643	g	4,389	kg	<0.1	mg/kg	0.5	○	<0.44	g	>99.98%
	RUN2	8,123	kg	830	mg/kg	6,742	g	7,774	kg	1.0	mg/kg	0.5	×	7.8	g	99.88%
	RUN3	8,485	kg	521	mg/kg	4,421	g	7,921	kg	<0.1	mg/kg	0.5	○	<0.79	g	>99.98%
ダイオキシン類	RUN1	4,713	kg	7300	pg-TEQ/g	34,405	μg-TEQ	4,389	kg	0.21[4.3]	pg-TEQ/g	1000	○	0.92 [19]	μg-TEQ	99.997% [99.94%]
	RUN2	8,123	kg	9300	pg-TEQ/g	75,544	μg-TEQ	7,774	kg	12[15]	pg-TEQ/g	1000	○	93 [120]	μg-TEQ	99.87% [99.84%]
	RUN3	8,485	kg	4600	pg-TEQ/g	39,031	μg-TEQ	7,921	kg	7.1[9.9]	pg-TEQ/g	1000	○	56 [78]	μg-TEQ	99.85% [99.8%]

測定項目	実験ケース	①原土		③処理土		⑨粉塵 (高温集塵機)		⑫粉塵 (還元加熱)		⑭処理ガス			⑧洗浄排水 (乾燥ガス)		⑮洗浄排水 (脱硫装置)		システム分解率			
		PCB・DXNs量	PCB・DXNs濃度	PCB・DXNs量	PCB・DXNs濃度	PCB・DXNs量	PCB・DXNs濃度	PCB・DXNs量	PCB・DXNs濃度	目標値	PCB・DXNs量	PCB・DXNs濃度	PCB・DXNs量	PCB・DXNs濃度						
PCB	RUN1	3,643	g	<0.44	g	106	g	11	g	0.012	mg/m ³ N	0.15	○	0.40	g	<0.00025	g	0.0039	g	96.8%
	RUN2	6,742	g	7.8	g	21	g	3.5	g	測定値 0.018 推定値 0.023	mg/m ³ N	0.15	○	測定値 0.36 推定値 0.46	g	0.0021	g	0.011	g	99.5%
	RUN3	4,421	g	<0.79	g	126	g	0.90	g	測定値 0.019 推定値 0.021	mg/m ³ N	0.15	○	測定値 0.34 推定値 0.38	g	0.0014	g	0.0024	g	97.1%
ダイオキシン類	RUN1	34,405	μg-TEQ	0.92 [19]	μg-TEQ	3,564	μg-TEQ	303	μg-TEQ	0.0011[0.0030]	ng-TEQ/m ³ N	0.1	○	0.037[0.10]	μg-TEQ	0.02	μg-TEQ	0.0025	μg-TEQ	88.8% [88.7%]
	RUN2	75,544	μg-TEQ	93 [120]	μg-TEQ	2,790	μg-TEQ	168	μg-TEQ	測定値 0.013[0.017] 推定値 0.016[0.021]	ng-TEQ/m ³ N	0.1	○	測定値 0.26[0.34] 推定値 0.32[0.42]	μg-TEQ	0.0014	μg-TEQ	0.0036	μg-TEQ	96.0% [95.9%]
	RUN3	39,031	μg-TEQ	56 [78]	μg-TEQ	5,124	μg-TEQ	30	μg-TEQ	測定値 0.0046[0.011] 推定値 0.0049[0.012]	ng-TEQ/m ³ N	0.1	○	測定値 0.083[0.20] 推定値 0.088[0.22]	μg-TEQ	0.018	μg-TEQ	0.0059	μg-TEQ	86.7% [86.6%]

注) ダイオキシン類の計算方法 A. 定量下限値以下を 0、B. 定量下限値以下=定量下限値、の 2 通りで実施し、A[B] で表示した

1) 除去率

■除去率の算定方法

$$\text{除去率 (\%)} = \{(\text{原土の PCB} \cdot \text{DXNs 量} - \text{処理土の PCB} \cdot \text{DXNs 量}) / \text{原土の PCB} \cdot \text{DXNs 量}\} \times 100$$

原土からの PCB、DXNs 除去率は、それぞれ 99.88%以上、99.85[99.8]%以上であった。PCB 濃度 (溶出) は全て不検出、DXNs 濃度はすべて目標値以下であった。PCB 濃度 (含有) は、RUN1、RUN3 は<0.1mg/kg であったが、RUN2 では 1.0mg/kg となり、目標値に達しなかった。

2) 分解率

■分解率の算定方法

$$\text{分解率 (\%)} = \{(\text{原土の PCB} \cdot \text{DXNs 量} - \text{処理土、粉塵、処理ガス、洗浄排水に含まれる PCB} \cdot \text{DXNs 量}) / \text{原土の PCB} \cdot \text{DXNs 量}\} \times 100$$

RUN1 におけるシステム全体の PCB、DXNs 分解率は、それぞれ 96.8%、88.8[88.7]%であった。

また、RUN2、RUN3 におけるシステム全体の分解率は、それぞれ PCB が 99.5%、97.1%、DXNs が 96.0[95.9]%, 86.7[86.6]%と推定される。

3) 排ガス処理

処理ガスの PCB 濃度は、0.012~0.019mg/m³N であり、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。

また、処理ガスの DXNs 濃度は 0.0011[0.0030]~0.013[0.017]ng-TEQ/m³N であり、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) 以下であった。

4) 排水処理 (洗浄排水⑧⑬を集め、バッチ処理後の処理水)

処理水のPCB濃度は $<0.0005\text{mg/L}$ 、DXNs濃度は $0.52[1.3]\text{pg-TEQ/L}$ で、それぞれPCB排水基準 ($\leq 0.003\text{mg/L}$) 及びダイオキシン類特別措置法の水質排出基準 ($\leq 10\text{pg-TEQ/L}$) 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54時間、最長連続運転5時間)

RUN1では、 $1,074\text{kg/h}$ で4.9時間の連続投入を行い、原土 $5,261\text{kg}$ を処理した。

しかし、計画投入速度 2.0t/h としたRUN2、RUN3では、いずれも乾燥機から減圧還元加熱装置へ乾燥土を送る搬送装置(スクレーパー)に土が詰まり一時原土投入を中断した。汚染土投入装置から乾燥機に土を送る別の搬送装置(覆道型コバア)は安定して稼働していたことから、投入速度 2.0t/h での処理安定性向上のために、乾燥土搬送機構の覆道型コバアへの改善を実施する必要がある。

○安全性

汚染土投入テント内で汚染土を前処理・投入する作業は、管理レベル3として、エアラインマスクなど適切な保護具を着用して実施した。汚染土投入テント内で汚染土投入作業の作業環境測定を行った結果、PCB濃度についてはA測定の第1評価値 $E_{A1}=0.030$ 、第2評価値 $E_{A2}=0.012$ 、B測定 $C_B=0.010$ で、評価は第1管理区域に相当した。

DXNs濃度は、廃棄物焼却処理施設内作業におけるダイオキシン類曝露防止対策要綱の第3管理区域に相当した。

2) 経済性

○効率性

投入速度 1.0t/h では、エネルギー効率は 6.7MJ/kg 、作業量は $178\text{kg/人}\cdot\text{h}$ 、投入速度 2.0t/h ではそれぞれ $4.0\sim 4.3\text{MJ/kg}$ 、 $299\sim 329\text{kg/人}\cdot\text{h}$ であった。

○経済性など

本確立調査では、最大処理能力 2.0t/h の施設で、合計 25t の土壌を処理し、それに要した費用は、PCB/DXNsの挙動や副生成物など詳細項目まで調査するとともに、室内事前検討も含み、およそ 189万円/t であった。また、 $10,000\text{t}$ をオンサイトで処理した場合の処理コストを試算するとヤード造成費、前処理費等を除いて 1.0t/h では 15.7万円/t 、搬送装置を改善後の 1.8t/h では 9.9万円/t となる。

(5) 周辺環境への負荷

1) 環境大気

○周辺大気中濃度

周辺大気中のPCB濃度、DXNs濃度はいずれも基準値以下(PCBは昭和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 ($\leq 0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$)、DXNsは大気環境基準 ($\leq 0.6\text{pg-TEQ}/\text{m}^3$)) であった。

2) 騒音

敷地境界での騒音振動の測定結果は、試験実施時で、騒音が、最大 72dB (ブランク測定時 69dB)、振動が最大 45dB (ブランク測定時 39dB)であった。

3) 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 CO_2 発生量は、処理速度 1.0t/h では、 470kg/t 、処理速度 2.0t/h では 289kg/t であった。

検討会概評

本技術は、PCB及びDXNsに汚染された土壌を、低酸素還元状態において、加熱温度 $600\sim 700^\circ\text{C}$ で間接加熱することによりPCB、DXNsを分解するものであり、乾燥機と還元加熱装置を分離することで、分解の安定性と汚染現場での処理への適合性を高めたことが特徴である。

PCB、DXNs除去の有効性については、土壌からの除去率はどれも 99.8% 以上の結果が得られた。環境面においては、周辺大気環境中のPCB濃度は暫定環境濃度 ($\leq 0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$) 以下、DXNs濃度は大気環境基準 ($\leq 0.6\text{pg-TEQ}/\text{m}^3$) 以下となった。

また、乾燥機と還元加熱装置を分離したことにより、設置面積はやや広がるものの、幅広い性状の土壌に対応することが可能と考えられる。

実用性の面では、より低コスト化を図るために処理速度を 2.0t/h に引きあげた処理実験を2回行ったが、それぞれ汚染土投入装置のトラブルが発生したことから、投入装置の構造等の検討を踏まえて処理の安定性・確実性を確保することが重要である。

別紙（減圧還元間接加熱分解法：ダイオ・スーパ）

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、処理能力 ①1.0t/h ②1.8t/h の2ケースについて、以下の条件を前提として試算した。

1) 試算前提の主要諸元

汚染土壌濃度	: PCB 含有量 1,000mg/kg
汚染土壌土質	: 砂質土、含水率 10%、強熱減量 2%、最大粒径 20mm
目標処理濃度	: PCB 溶出量 不検出 (0.0005mg/L 未満)
処理量(t)	: 10,000t
処理能力(t/h)	: ①1.0t/h ②1.8t/h
運転時間(h)	: 24h/日
稼働日数(日)	: 20日/月
処理時間(月)	: ①21ヶ月 ②11.6ヶ月
処理条件	: 土壌加熱温度 700℃、排ガス酸化温度 1100℃
減価償却期間(年)	: 9年
工費の試算範囲内	: 機器損料、機器設置撤去運搬、ユーティリティ、光熱水費、資機材費、薬剤費、モニタリング経費、人件費、安全管理費、現場経費、諸経費
工費の試算範囲外	: ヤード造成、基礎、建屋、土地取得費、処理後土壌処分費、土壌掘削運搬費、残渣処理費、還元加熱設備設置手続き費

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)	: ①1.0t/h 1,571 百万円 ②1.8t/h 998 百万円
処理単価	: ①1.0t/h 157,000 円/t ②1.8t/h 99,800 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。

処理量(t)	: 10,000t
処理能力(t/h)	: ①1.0t/h ②1.8t/h
処理時間(月 or 年)	: ①21ヶ月 ②11.6ヶ月
プラント運搬距離	: 300km
運搬台数	: 30台

※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 (10,000t 処理時)	: ①1.0t/h 4,699t ②1.8t/h 2,894t
排出原単位	: ①1.0t/h 470kg-CO ₂ /t ②1.8t/h 289 kg-CO ₂ /t