

PCB 汚染異物混入土の 還元加熱処理

Reductive Heating Treatment of
PCB-Contaminated Soil
Including Extraneous Substance



技術開発本部
プロセス技術開発部新規プロセス室
小倉 正裕
Masahiro Ogura
プロセス技術開発部廃棄物処理室
青木 勇
Isamu Aoki
技術本部操業技術部ソリューション室
西江 雅一朗
Masaichiro Nishie
角尾 隆
Takashi Kakuo
道下 晴康
Haruyasu Michishita

室蘭環境プラントサービス株式会社
川井 隆夫
Takao Kawai
(工学博士・技術士)

PCB およびダイオキシン類に汚染された異物混入土壌等の処理方法として、還元加熱処理技術を適用した。前処理は湿式選別をおこない、土砂、不燃物および可燃物に選別した。還元加熱処理は、パイロット規模の装置により処理温度550℃、低酸素雰囲気下で無害化処理をおこなった。処理前 PCB およびダイオキシン類の97~99.999%を除去でき、排ガスや処理水の PCB およびダイオキシン類は目標基準値を十分に下回った。これにより、異物が混入した汚染土壌等の無害化処理方法として還元加熱処理法が有効であることを確認した。

Reductive Heating Process was applied to confirm the reduction of PCB and dioxins contaminated soil including extraneous substance. It divided soil, the noncombustible and combustible by wet division process. Using the pilot-scale plant, it was confirmed that 97~99.999% of initial PCB and dioxins amount in contaminated soil was removed at 550℃ under an oxygen deficient atmosphere. The content of PCB and dioxins in the treated water and gas from the reductive heating equipment also met the Japanese regulations. These results offered a stable operation and discharge of soil to be recyclable.

Key Words :

還元加熱法	Reductive heating process
汚染土壌	Contaminated soil
PCB (ポリ塩化ビフェニル)	PCB (Polychlorinated Biphenyl)
ダイオキシン類	Dioxins
金属 Na 分散体	Sodium dispersion oil

まえがき

残留性有機汚染物質 (POPs: Persistent Organic Pollutants) に関するストックホルム条約が2004年5月に発効し、日本においても POPs に関連する適正処理が推進されている。¹⁾ POPs の代表的な化合物である PCB やダイオキシン類に汚染された土壌

および底質などに対して効率的かつ適正な処理のためには、処理の安全性・確実性、低環境負荷、低コストを実現する無害化処理技術の確立が必要である。当社は POPs 汚染土壌の浄化技術として、約550℃の比較的低温条件で安定して高い処理性能がえられ、かつ低環境負荷でオンサイト処理も可能な

還元加熱法を開発し、ダイオキシン類や農薬、低濃度 PCB の汚染土壌、²⁾ 高濃度 PCB 汚染土壌³⁾ など、多様な POPs 汚染土壌に対して安全で確実に無害化処理できることを実証してきた。また、第三者機関による技術認定として、当社の還元加熱法は PCB 等処理技術調査検討委員会から PCB 汚染汚泥の処理技術として技術評価を取得済みである。⁴⁾

しかし、実際の汚染土壌には土壌以外の異物が混入しているケースも多い。そこで、実処理においてさらに安全で確実な無害化処理技術として確立するため、異物が混入した PCB 汚染土砂を対象に、実処理を想定した前処理を施した上で還元加熱処理の実証試験を実施し、高い無害化処理性能を確認した。これにより、異物が混入した汚染土壌等の無害化処理方法として還元加熱処理法が有効であることを確認したので以下に報告する。

1. プロセス概要

図 1 に本プロセスの概要を示す。本プロセスは前処理、還元加熱処理、金属 Na 分散体法 (SP 法)⁵⁾ 処理の 3 つの処理プロセスから成る。

前処理プロセスでは、異物が混入した PCB 汚染土砂を水洗・手選別により、土砂、可燃物、不燃物、金属類の 4 種類に選別する。可燃物、不燃物の汚染物はそれぞれ適正な破碎機または切断機によって還元加熱処理設備に応じた試料投入に適当な寸法に破碎した後、必要に応じて土砂の汚染物等と混合して試料調製をおこなう。金属類は付着した土砂を洗浄除去後、再資源化する。水洗時の泥水は、水処理をおこない、場内で再利用する。水処理工程で発生する沈殿泥は、脱水処理をおこない、脱水ケーキは土

砂の汚染物等と調合して還元加熱処理する。

還元加熱処理プロセスでは、試料調製した処理対象物を間接加熱式キルン炉に連続的に供給し、低酸素雰囲気にて約 550℃ で還元加熱処理することにより、PCB やダイオキシン類を揮発分離または一部を熱分解することで処理対象物を無害化する。無害化された浄化済土砂等はセメント原料に、浄化済可燃物はセメント燃料にそれぞれリサイクルする。還元加熱処理で発生するプロセスガスには PCB やダイオキシン類等の揮発成分が含まれるため、油をもちいた排ガス洗浄装置 (オイルスクラバー) で洗浄した後、活性炭処理槽を経て系外に排出する。

SP 法処理プロセスでは、還元加熱処理のプロセスガスをオイルスクラバーで洗浄した洗浄油中に含まれる PCB やダイオキシン類を金属 Na 分散体により脱塩素・無害化する。ここで使用する金属 Na 分散体は消防法の取扱い上、第 4 類第 3 石油類に分類され、絶縁油や重油と同じ分類であり、通常の油と同様の取扱いが可能な物質である。処理対象物中に含まれる水分は還元加熱処理過程で蒸発した後、オイルスクラバーで凝縮して洗浄油と一緒に回収される。

本プロセスの主な特長を以下にまとめる。

- ・還元加熱処理プロセスに間接加熱方式を採用しているため、無害化処理に必要な熱量と無関係にプロセスのキャリアガス量を設定可能である。そのため、排ガス量を最小にでき、環境負荷の非常に小さいプロセスである。
- ・処理設備がコンパクトであるためオンサイト設置が容易である。

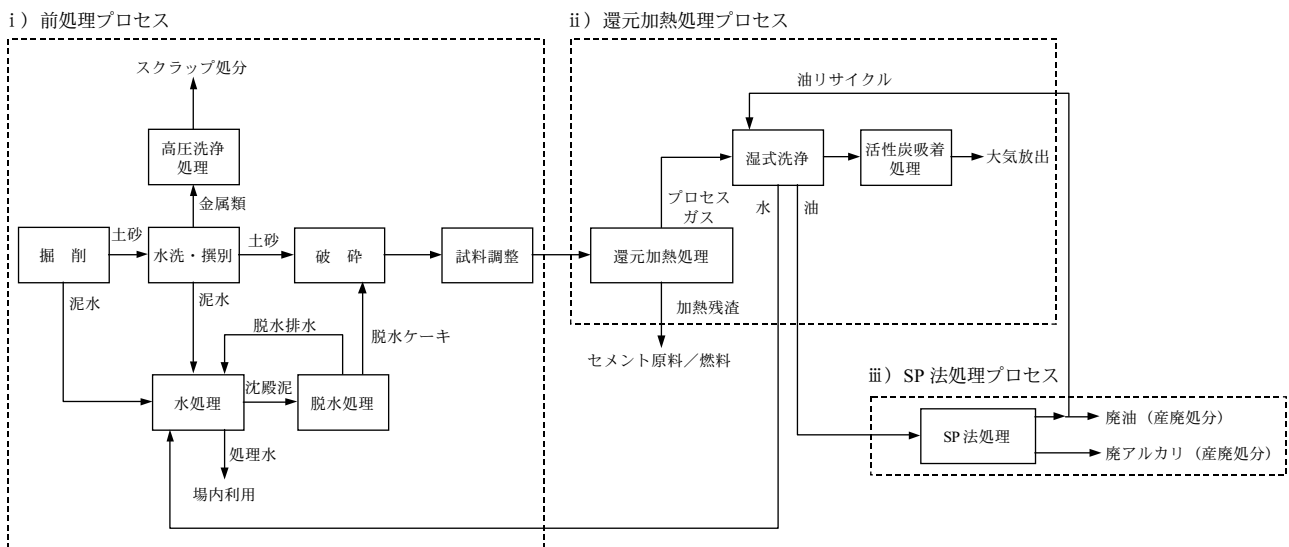


図 1 プロセスの基本フロー

- ・還元加熱処理プロセスで添加物は一切必要とせず、処理温度条件が比較的低いため、省エネルギーである。
- ・保護具や活性炭などの二次汚染物は還元加熱処理により無害化処理が可能である。
- ・無害化された処理済土砂等はセメント原料に、浄化済可燃物はセメント燃料にそれぞれリサイクルし、金属類は再資源化、処理工程で発生する水は

浄化プロセス内で再利用するなど、廃棄物量が最小限である。

2. 試験方法

2.1 試験設備

前処理試験フローと還元加熱処理試験フローを図2, 3に示し、パイロット試験設備の外観を写真1, 2に示す。

前処理試験設備は、水洗用のコンテナ、泥水槽、

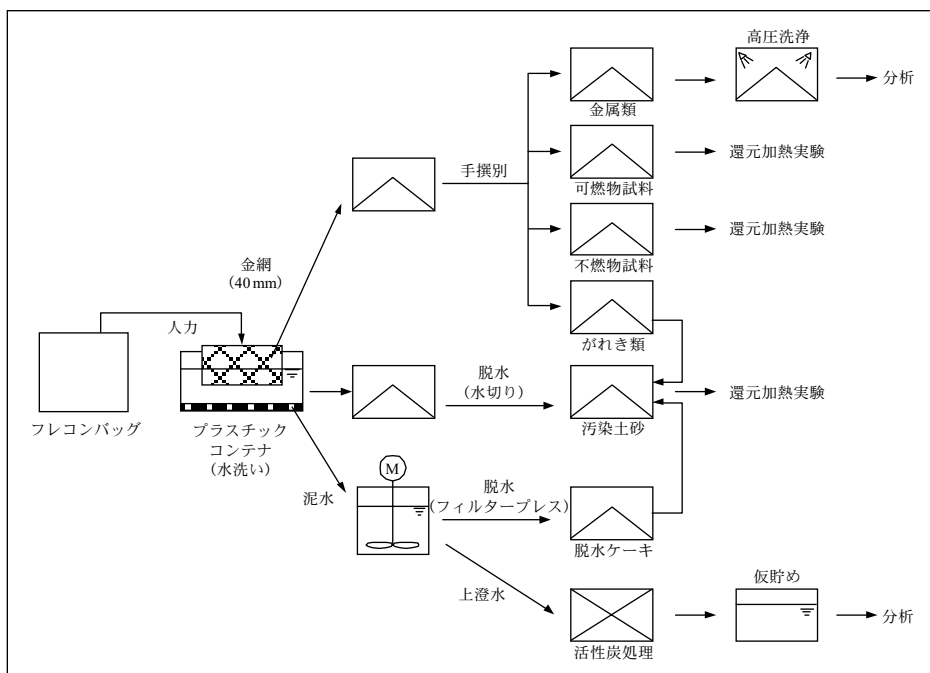


図2 前処理試験フロー

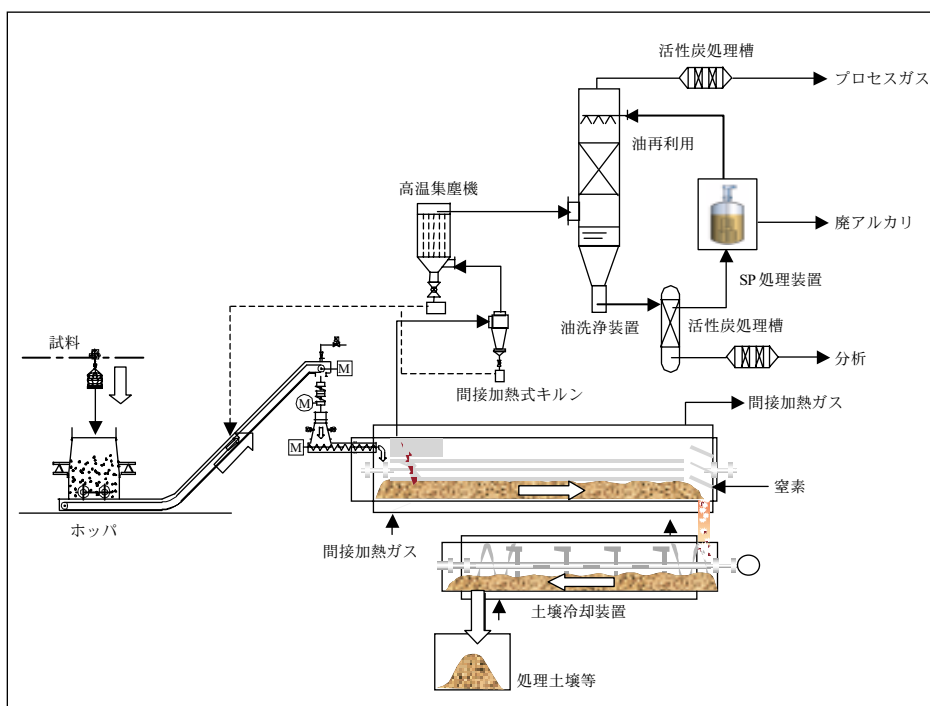


図3 還元加熱処理試験フロー



写真1 実験施設全景
(左奥；還元加熱設備, 右手前；前処理設備)



写真2 還元加熱試験設備の外観

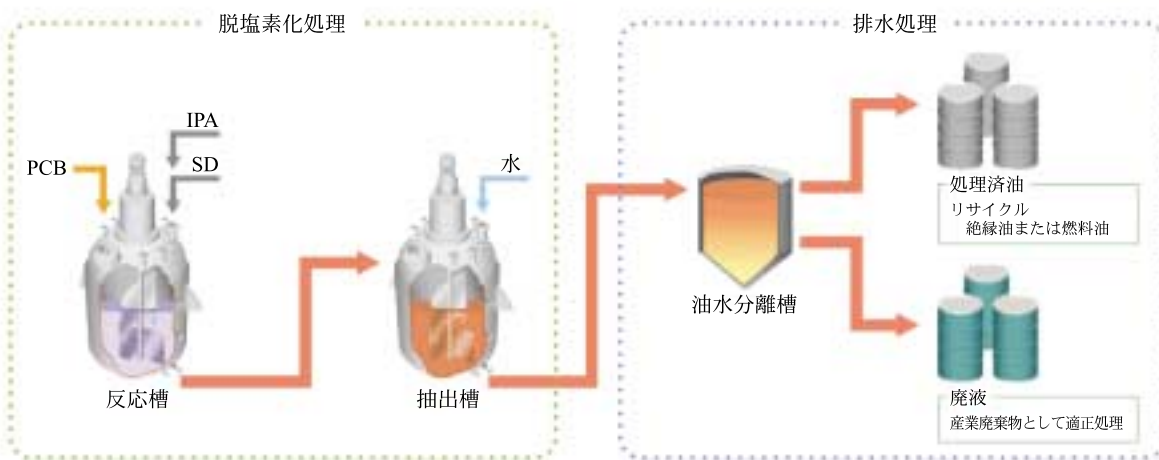


図4 SP法処理試験フロー

脱水機（フィルタープレス）、試料保管用のペール缶などをテント内に配置した。

間接加熱式キルン炉は、炉内を負圧制御し、窒素ガス置換によって低酸素雰囲気調整した。熱風発生炉にてえられる間接加熱ガスを熱源として炉内温度を制御した。間接加熱式キルン炉で無害化された処理対象物は、ダイオキシン類の再合成を防ぐために土壌冷却装置で急冷し浄化済残渣をえた。

試験設備全体を建屋内に設置し、エリア内を換気して負圧管理した。換気排気は換気用活性炭槽を経て建屋外に排気した。

SP法試験フローを図4に示す。反応槽においてPCBやダイオキシン類を含む洗浄油に金属Na分散体（金属ナトリウムを微粒子状にして絶縁油に分散させたもの）を添加して加熱し、脱塩素化反応によりPCBやダイオキシン類を無害化した。余剰の金属ナトリウムは中和槽において水を加えて水をし、廃アルカリとして処分した。処理済油はオイルスク

ラバーの洗浄油として再利用した。

2.2 試験方法と試験条件

(1) 前処理試験

PCB汚染土砂を網かごに入れて、水を張ったコンテナ内で水洗をおこない、洗浄泥水を分離した。つぎに、手選別により40mm以下の土砂等、40mm超の可燃物（木、プラスチック、皮革類等）、40mm以上のがれき類、40mm超の金属類および不燃物（ガラス、陶磁器、コンクリート片等）に選別し、それぞれ物質収支と試料組成について調査した。40mm超のがれき類および不燃物は、それぞれ破碎機により40mm以下に破碎した。洗浄泥水は凝集沈殿処理をおこない、沈殿泥をフィルタープレスにより脱水し、脱水ケーキと上澄水をえた。40mm以下のがれき類と脱水ケーキは、40mm以下の土砂に混合し、試料調整をおこなった。また、前処理作業における作業環境の測定および作業性の評価を実施した。

(2) 還元加熱処理試験

還元加熱処理試験条件を表1に示す。土砂を2条件、不燃物、可燃物を各1条件、土砂と可燃物の混合物（土砂85%，可燃物15%）を2条件実施し、浄化済残渣や排ガスのPCBやダイオキシン類について評価した。また、浄化済残渣の重金属溶出挙動についても調査を実施した。

還元加熱処理前の汚染物試料中の水分は、間接加

表1 還元加熱処理試験条件

ケース No.	試料	処理温度	温度保持時間	供給時間	供給速度	処理量
		°C	h	h	kg/h	kg
1	土砂	550	1	5	50	250
2	土砂	550	1	4	100	400
3	不燃物	550	1	0.9	50	45
4	可燃物	550	1	4.5	50	225
5	土砂／可燃物※	550	1	4.5	50	225
6	土砂／可燃物※	550	1	4.5	75	337
合 計						1482

※土砂85%，可燃物15%の混合物

熱式キルン炉内で蒸発させ、オイルスクラパーで凝縮回収した。この凝縮水は活性炭吸着処理をおこなって処理後凝縮水として排出した。

設備の立ち上げについて、間接加熱式キルン炉を550℃まで昇温し、窒素ガスにより炉内を低酸素状態（酸素濃度3%以下）に調整した後、所定速度で試料の供給を開始し、無害化処理をおこなった。処理温度および炉内圧力の一例を図5に示す。炉内温

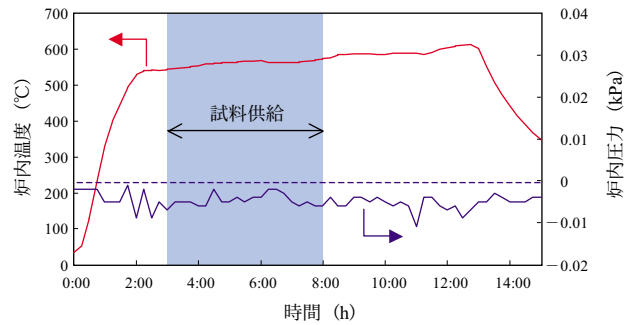


図5 還元加熱装置の運転状況（ケース1）



写真3 土砂



写真4 不燃物



写真5 可燃物



写真6 金属類

表2 金属類の水洗浄結果

分析項目		洗浄前	洗浄後
PCB濃度	mg/kg	0.090	<0.0014
DXNs濃度	pg-TEQ/g	40	0



写真7 脱水ケーキ

度は550℃以上を安定保持し、炉内圧力は終始負圧に維持されているのがわかる。

(3) SP法処理試験

処理温度を90℃、処理時間を60分に設定してSP法処理をおこない、プロセスガス洗浄油や廃アルカリのPCBおよびダイオキシン類について評価した。

3. 試験結果および考察

(1) 前処理試験結果

異物が混入したPCB汚染土砂をフレコンバッグ3袋で受け入れ、総重量は2123kgであった。この汚染物試料を湿式選別により土砂、不燃物、可燃物、金属類の4種類に容易に選別できた。選別後の外観を写真3～6に示す。この内、土砂、不燃物、可燃物の試料について還元加熱処理を実施した。

選別した金属類については、まず水中で高圧水を当てて、付着土砂を除去する高圧洗浄を実施した。付着土砂の除去が不十分であったため、さらに手洗浄により残留土砂を除去した。付着土砂の洗浄前後の金属試料のPCB、ダイオキシン類の分析結果を表2に示す。付着土砂の洗浄後の金属類のPCB濃度は0.0014mg/kg未満であり、目標基準値(0.01mg/kg以下)を満足した。金属類について、汚染物である付着土砂を適正に除去することで無害化処理が可能であることを確認した。

湿式選別で生じた泥水について、ポリ塩化アルミニウムおよび高分子凝集剤を添加してえられた凝集沈殿フロックはフィルタープレスにより脱水処理した。脱水処理でえられた脱水ケーキの概観を写真7

表3 処理水の分析結果

分析項目		処理水	基準
DXNs	pg-TEQ/L	0.97	10
PCB	mg/L	<0.0005	0.003
カドミウムまたはその化合物	mg/L	<0.001	0.1
シアン化合物	mg/L	0.11	1
有機リン化合物	mg/L	<0.01	1
鉛またはその化合物	mg/L	0.018	0.1
六価クロム化合物	mg/L	<0.02	0.5
砒素またはその化合物	mg/L	0.006	0.1
水銀またはその化合物	mg/L	<0.0005	0.005
アルキル水銀化合物	mg/L	<0.0005	検出されないこと
セレンまたはその化合物	mg/L	<0.001	0.1
ほう素またはその化合物	mg/L	0.90	10
ふっ素またはその化合物	mg/L	0.2	8
pH	—	6.2(22.8℃)	5.8～8.6
BOD	mg/L	83.5	160
COD Mn	mg/L	15.8	160
SS	mg/L	10	200
ノルマルヘキサン抽出物	mg/L	<1	5
大腸菌群数	個/cm ³	20	3000
窒素含有量	mg/L	49.7	120
りん含有量	mg/L	0.20	16

表4 作業環境測定結果

分析項目	単位	基準	測定値	第1評価値	第2評価値	管理区域	
PCB測定	A測定	mg/m ³	0.1	1	0.0024	0.0010	第1
				2			
				3			
				4			
				5			
				6			
B測定			<0.0008	—	—		
ダイオキシン類測定	A測定	pg-TEQ/m ³	2.5	1	1.91	0.77	第1
				2			
				3			
				4			
				5			
				6			
B測定			1.70	—	—		
粉じん測定	A測定	mg/m ³	0.54	1	0.14	0.05	第1
				2			
				3			
				4			
				5			
				6			
B測定			0.26	—	—		

に示す。脱水ケーキは土砂と混合して還元加熱処理を実施した。凝集処理で発生する上澄水は活性炭吸着処理をおこなった結果、排水基準項目を満足することを確認した(表3)。

前処理作業中に前処理試験設備のテント内の作業環境測定を実施した結果、PCB、ダイオキシン類、粉じんのいずれも第1管理区域であった(表4)。

表5 分析結果一覧表 (ケース1, 2)

分類	分析項目	基準	単位		ケース1 土砂		ケース2 土砂		
					分析結果	除去率 (%)	分析結果	除去率 (%)	
土	DXNs	含有	150	pg-TEQ/g	処理前	110	99.999	120	99.999
					処理後	0.00089		0.00097	
	PCB	含有	(0.1)	mg/kg	処理前	0.90	99.3	0.71	99.5
					処理後	0.0060		<0.0035	
		溶出	検出されないこと	mg/L	処理前	<0.0005	—	<0.0005	—
					処理後	<0.0005		<0.0005	
	鉛またはその化合物	含有	150	mg/kg	処理前	770	49.4	720	—
					処理後	390		920	
		溶出	0.01	mg/L	処理前	<0.005	—	<0.005	—
					処理後	<0.005		<0.005	
	水銀またはアルキル水銀その他の水銀化合物	含有	15	mg/kg	処理前	<0.1	—	<0.1	—
					処理後	<0.1		<0.1	
溶出		0.0005	mg/L	処理前	<0.0005	—	<0.0005	—	
				処理後	<0.0005		<0.0005		
砒素またはその化合物	含有	150	mg/kg	処理前	10	30.0	9	—	
				処理後	7		10		
	溶出	0.01	mg/L	処理前	<0.002	—	<0.002	—	
				処理後	<0.002		0.013		
シアン化合物	含有	50	mg/kg	処理前	<1	—	<1	—	
				処理後	<1		<1		
	溶出	検出されないこと	mg/L	処理前	<0.1	—	<0.1	—	
				処理後	<0.1		<0.1		
ふっ素またはその化合物	含有	4 000	mg/kg	処理前	120	31.7	83	—	
				処理後	82		140		
	溶出	0.8	mg/L	処理前	0.6	—	0.6	—	
				処理後	1.8		2.0		
油分	—	油膜が生じない	—	処理前	無し	—	無し	—	
				処理後	無し		無し		

表6 分析結果一覧表 (ケース3~6)

分類	分析項目 (基準超過物質)	基準	単位		ケース3 不燃物		ケース4 可燃物		ケース5 混合土砂		ケース6 混合土砂		
					分析結果	除去率 (%)	分析結果	除去率 (%)	分析結果	除去率 (%)	分析結果	除去率 (%)	
廃棄物	DXNs	含有	3 000	pg-TEQ/g	処理前	43	99.6	110	99.9	110	99.9	77	99.8
					処理後	0.18		0.10		0.12			
	PCB	含有	(0.1)	mg/kg	処理前	0.41	97.6	1.9	99.6	0.74	98.9	0.43	97.4
					処理後	0.010		0.0077		0.011			
		溶出	0.003	mg/L	処理前	<0.0005	—	<0.0005	—	<0.0005	—	<0.0005	—
					処理後	<0.0005		<0.0005		<0.0005			
	鉛又はその化合物	含有	—	mg/kg	処理前	76	—	600	—	820	—	980	—
					処理後	660		2 200		1 400		1 800	
		溶出	0.3	mg/L	処理前	<0.005	—	<0.005	—	<0.005	—	<0.005	—
					処理後	<0.005		<0.005		<0.005			
	水銀又はその化合物	溶出	0.005	mg/L	処理前	<0.0005	—	<0.0005	—	<0.0005	—	<0.0005	—
					処理後	<0.0005		<0.0005		<0.0005			
砒素又はその化合物		溶出	0.3	mg/L	処理前	<0.002	—	<0.002	—	<0.002	—	<0.002	—
					処理後	0.004		<0.002		0.012		0.010	
シアン化合物	溶出	1	mg/L	処理前	<0.1	—	<0.1	—	<0.1	—	<0.1	—	
				処理後	<0.1		<0.1		<0.1				
油分	—	5	%	処理前	<0.5	—	<0.5	—	<0.5	—	<0.5	—	
				処理後	<0.5		<0.5		<0.5				

今回の試験結果から湿式選別は試料を湿潤状態で取扱うために作業者にとって安全な処理方法であり、異物混入土砂の前処理として有効であることを確認できた。

(2) 還元加熱処理試験結果

還元加熱処理前後の処理前試料と浄化済残渣の分析結果を表5, 6に、浄化済残渣の外観を写真8に示す。処理前試料中のPCB 0.41~1.9 mg/kg, ダイオキシン類 43~120 pg-TEQ/g に対して、浄化済残渣中のPCB 0.011 mg/kg 以下, ダイオキシン類 0.18 pg-TEQ/g 以下, 除去率は97~99.999 % 以上であり、異物混入土砂に対しても高い無害化性能を発揮することが示された。

浄化済残渣の重金属類の挙動について、鉛の含有量、砒素とフッ素の溶出量が埋立基準値を超過した。鉛化合物については、加熱温度が低いために気化せ



写真8 浄化済残渣

ずに残渣中に多く残留したものと考えられる。砒素およびフッ素については、還元加熱処理により溶出しやすい化合物形態に変化したため溶出量が増加したものと考えられる。今回の試験結果から、実処理によって還元加熱処理後の浄化済残渣を埋め戻す際には注意が必要であり、セメントの粘土代替原料としてリサイクルするのが適切である。セメント資源化においては、製品セメント中の金属含有量が土壌汚染対策法に示される基準値を超過しないように管理されるため、適正に有効利用される。

還元加熱処理で排出される排ガスと排水の分析結果を表7, 8に示す。活性炭槽出口の最終排ガスについてPCB 0.00033~0.00067 mg/m³N, ダイオキシン類 0.025~0.069 ng-TEQ/m³N であり、目標基準値 (PCB 0.1 mg/m³N 以下, ダイオキシン類 0.1 ng-TEQ/m³N 以下) を満足した。凝縮水を活性炭処理した後の排水について、PCB は0.0005 mg/L 未満, ダイオキシン類は0.0016 pg-TEQ/L 以下であり、目標基準値 (PCB 0.003 mg/L 以下, ダイオキシン類 10 pg-TEQ/L 以下) を十分に満足した。

(3) SP 法処理試験結果

プロセスガス洗浄油のSP法処理試験結果を表9に示す。プロセスガス洗浄油中にはPCB 0.78~1.9 mg/kg, ダイオキシン類 72~190 pg-TEQ/g が含まれたが、SP法処理油はPCB 0.05 mg/kg 未満, ダイオキシン類 0~0.010 pg-TEQ/g であり、目標基準値 (ダイオキシン類 3 ng-TEQ/g 以下) を十分に満足した。廃アルカリは、PCB 0.0005 mg/L 未満, ダイオキシン類 0~0.0096 pg-TEQ/L であり、目標基準値 (ダイオキシン類 100 pg-TEQ/L 以下) を十分に満足した。

表7 還元加熱処理排ガスの分析結果

分析項目		ケース2 土砂	ケース4 可燃物	ケース6 土砂+可燃物
PCB	mg/m ³ N	0.00033	0.00067	0.00042
DXNs	ng-TEQ/m ³ N	0.048	0.069	0.025

※ケース3 不燃物は、試料少量のため分析不可であった。

表8 処理後凝縮水の分析結果

分析項目		ケース1+2 土砂	ケース5+6 土砂+可燃物
PCB	mg/L	<0.0005	<0.0005
DXNs	pg-TEQ/L	0.00051	0.0016

※ケース3 不燃物およびケース4 可燃物は、試料少量のため分析不可であった。

表9 プロセスガス洗浄油のSP法処理結果

分析項目		プロセスガス洗浄油	処理油	廃アルカリ
PCB	mg/kg	0.78~1.9	<0.05	<0.0005 mg/L
DXNs	pg-TEQ/g	72~190	0~0.010	0~0.0096 pg-TEQ/L

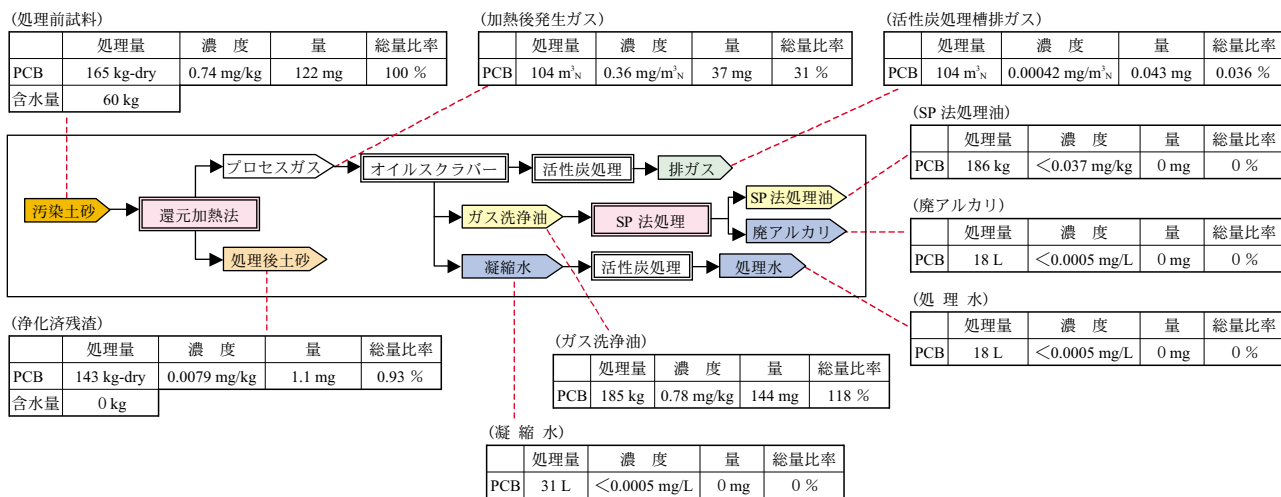


図6 PCB収支(ケース5 土砂+可燃物)

表10 周辺環境測定結果

分析項目		還元加熱処理試験中
PCB	μg/m ³	0.00056
DXNs	pg-TEQ/m ³	0.028
粉じん	g/m ³	0.000037
臭気指数	—	<10
特定悪臭物質濃度	—	<10

(4) PCB収支

土砂と可燃物の混合物処理時(ケース5)のPCB収支を図6に示す。処理前試料中のPCB量を基準(100%)にして、浄化済残渣には0.93%、間接加熱式キルン炉出口の加熱後発生ガスには31%であり、還元加熱処理によりPCBの約70%が分解した。加熱後発生ガス中のPCBはオイルスクラバーで除去され、活性炭処理後の最終排ガスにて排出されるPCBはわずか0.036%であった。さらに、最終排ガス以外の系外に排出されるSP法処理油、廃アルカリ、処理水は全てが定量下限値以下であり、異物混入土砂に対しても高い無害化性能がえられることが示された。

(5) 周辺環境

還元加熱処理試験中に周辺環境を測定した結果を表10に示す。周辺環境大気についてPCB0.00056μg/m³、ダイオキシン類0.028pg-TEQ/m³であった。これは、環境基準値(PCB0.5μg/m³以下、ダイオキシン類0.6pg-TEQ/m³以下)を十分に下回る低い濃度であり、還元加熱処理が安全性の高い処理技術であることが示された。

むすび

実汚染土壌等において土壌以外の異物が混入している場合を想定して、前処理を施した上で還元加熱処理の実証試験を実施した。処理対象物として異物が混入したPCBの実汚染土砂を使用し、実処理を想定して湿式選別の前処理をおこなった後、選別後試料について還元加熱処理をおこなう処理方法により、安全で高い無害化処理性能がえられることを実証した。

これにより、異物が混入した汚染土壌等に対しても還元加熱処理法が有効であることが示された。本技術によりPCBやダイオキシン類、その他有機塩素系農薬などに汚染された土壌・底質などの安全な無害化を促進し、環境浄化に貢献していきたい。

なお本報告は、平成18年度、国土交通省京浜河川事務所より受託し、東亜建設工業(株)および太平洋セメント(株)との共同で実施した「鶴見川多目的遊水地土壌無害化処理実験」の成果の一部をまとめたものである。

[参考文献]

- 1) 環境省, POPs条約に基づく国内実施計画
http://www.env.go.jp/chemi/pops/plan/all.pdf
- 2) 小倉正裕, 加賀城直哉, 井出昇明, 川井隆夫: 還元加熱脱塩素法+金属Na分散体法によるPCB汚染土壌処理技術, 土壤環境センター技術ニュース, No.6, p.25-28 (2003)
- 3) 小倉正裕, 川井隆夫: 還元加熱法による高濃度PCB汚染土壌処理, 第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集, E1-8, p.1328-1330 (2004)
- 4) (財)産業廃棄物処理事業振興財団: PCB処理技術ガイドブック(改訂版), p.477, p.584-585 (2005)
- 5) (財)産業廃棄物処理事業振興財団: PCB処理技術ガイドブック(改訂版), p.449, p.498-503 (2005)