

ダイオキシン汚染土の無害化

—現地無害化処理 (TPS+ジオメルト)—

松生 隆 司・中 島 卓 夫・竹 島 正 博

ダイオキシン類汚染土壌や PCB 汚染土壌は、社会的認識の高さと難分解性の点から対策技術の確立が難しいのが現状であり、低コスト、低負荷で安全確実に処理する技術が求められている。これらの汚染土壌に対し、「現地溶融固化法」は高い浄化性能と広範囲の適用性を有するが、低濃度汚染土壌の大量処理にはコスト面で問題があった。今回、間接熱脱着による汚染物質の分離技術と組合せることで、大幅な処理工期短縮とコスト削減を図った現地無害化処理技術を実用化した。本報文は、処理技術の概要と実証実験の結果を報告する。

キーワード：ダイオキシン類、汚染土壌、土壌浄化、間接熱脱着、TPS 法、溶融固化、現地処理、現地溶融固化法

1. はじめに

近年、土壌汚染に対する社会的認識が高まるとともに、土壌汚染対策法やダイオキシン類特別措置法などの法整備により汚染の基準が明確化となり、汚染土壌の浄化対策が進みつつある。

しかし、ダイオキシン類汚染土壌や PCB 汚染土壌については、その汚染物質がもつ難分解性および毒性の高さから対策技術の確立が難しく、低コストで環境に低負荷の安全かつ確実に無害化処理する対策技術が求められている。

このような中で、ダイオキシン類汚染物および汚染土壌を安全確実に現地で無害化処理できるものとして、溶融固化法であるジオメルト法が実施されてきた¹⁾。

ジオメルト法は、土壌中に通電して土壌を溶融し、その溶融熱でダイオキシン類を分解する技術であり、高い浄化性能と広い適用範囲を有するが、低濃度で大量の汚染土壌への適用にはコスト面で問題があった。

そこで、海外において PCB やダイオキシン類汚染土壌に関し多くの実績を有する間接熱脱着工法の一つである TPS (Thermal Phase Separation) 法を技術導入し、TPS 法で汚染物質を土壌から分離して大部分の土壌を浄化回収し、分離した汚染物質をジオメルト法^{*}で無害化処理する「TPS+ジオメルト」法を、大量に存在する比較的低濃度汚染土壌の現地無害化処理法として提案し、「環境省平成 15 年度ダイオキシン

類汚染土壌浄化技術実証調査」において実規模の実証実験を実施した²⁾。

本報文では、処理技術の概要および実証実験の結果について報告する。なお、本報文の内容は環境省のとりまとめ又は見解ではなく、筆者らとその責において取りまとめたものである。

2. 汚染土壌処理技術

(1) TPS 法の概要

TPS 法は、汚染土壌を加熱炉内で 400~700°C まで間接的に加熱して汚染物質を土壌から揮発、分離させる熱脱着技術である。揮発・分離した汚染物質、水蒸気およびダストを含む排ガスは冷却液化部 (クエンチ) で回収し、HEPA (High Efficiency Particle Air) フィルターおよび活性炭槽を通して大気放出する。

クエンチに噴霧した冷却水には、ダイオキシン類、PCB などの汚染物質が取込まれているため、スラッジとともに沈降分離させ、さらに排水処理設備により脱水ケーキ (濃縮汚染物) として回収する。

これらの処理は密閉した装置内で行われるため、汚染物質を含む排気や排水の発生が少量であり、小規模の排ガス、排水処理設備で汚染土壌を連続処理することが可能である。

図—1 に TPS 法の処理フローを示す。

ダイオキシン類汚染土壌の間接熱脱着処理の場合、高塩素化物の沸点を考慮し、土壌を 600°C 以上に加熱するが、この温度域ではダイオキシン類の分解も生じるため、TPS 法によるダイオキシン類汚染土壌の

※ ジオメルト法は株式会社アイエスブイジャパンが日本国内の専用実施権を取得している技術である

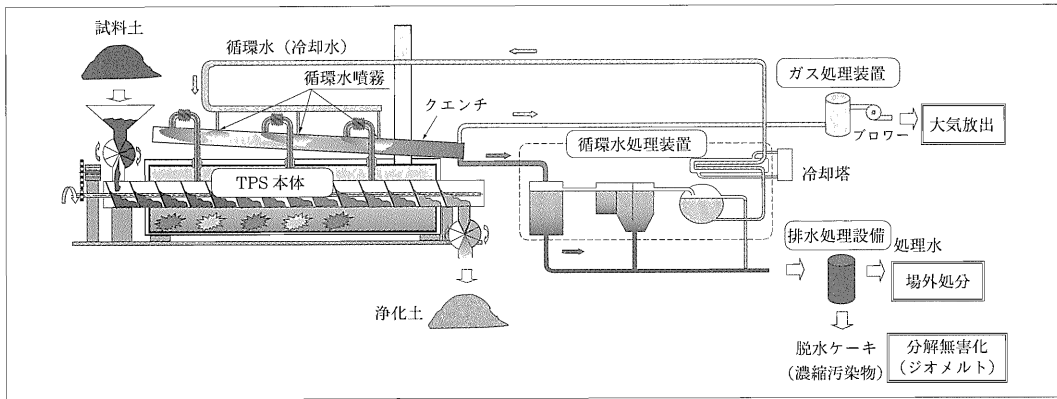


図-1 TPS法の処理フロー

浄化は、熱脱着と熱分解によるものとなる。

また、TPS法の適用濃度範囲は、汚染土壌中のダイオキシン類濃度や浄化の目標レベル、処理条件により異なるが、浄化土のダイオキシン類濃度の浄化目標を10 pg-TEQ/g以下とした場合、最大10,000 pg-TEQ/g程度のダイオキシン類汚染土壌までを処理することが可能であり、汚染土壌の大部分を浄化土として回収でき、現地への埋戻し土として再利用できる。

TPS法の主要設備は、TPS本体、循環水処理装置、排ガス処理装置で構成される。

TPS本体は、加熱炉（チャンバ）内の土壌を間接的に加熱しながら、所定の加熱温度、滞留時間を維持してスクリーオーガで搬送する構造を有する。投入・排出口にロータリバルブを配置して加熱炉内の気密性を高め、加熱炉および排ガス処理装置内を最下流側に配置したブロウで負圧状態に保って汚染物質の漏洩を

防いでいる。

循環水処理装置は、クエンチに噴霧した冷却水中のスラッジを沈降分離させるセパレータ、循環水ポンプ、循環水クーラを備えている。

排ガス処理装置は、ガスクーラ、ミスト除去装置、HEPAフィルタ、活性炭槽、ブロウを備えている。全ての装置はスキッドに組込まれ、運搬、組立て、解体を容易にしている。

図-2に施工状況図を、写真-1に設置した実施工機の外観を示す。

汚染土壌に対する実施工の処理条件を決定するトリータビリティテストを行うための試験機を開発している。本試験機は1/60規模の処理能力を有し、実施工機の土壌搬送、加熱、排ガス処理の方法は同一で、TPS法の処理性能を評価することができる。写真-2に試験機の外観を示す。

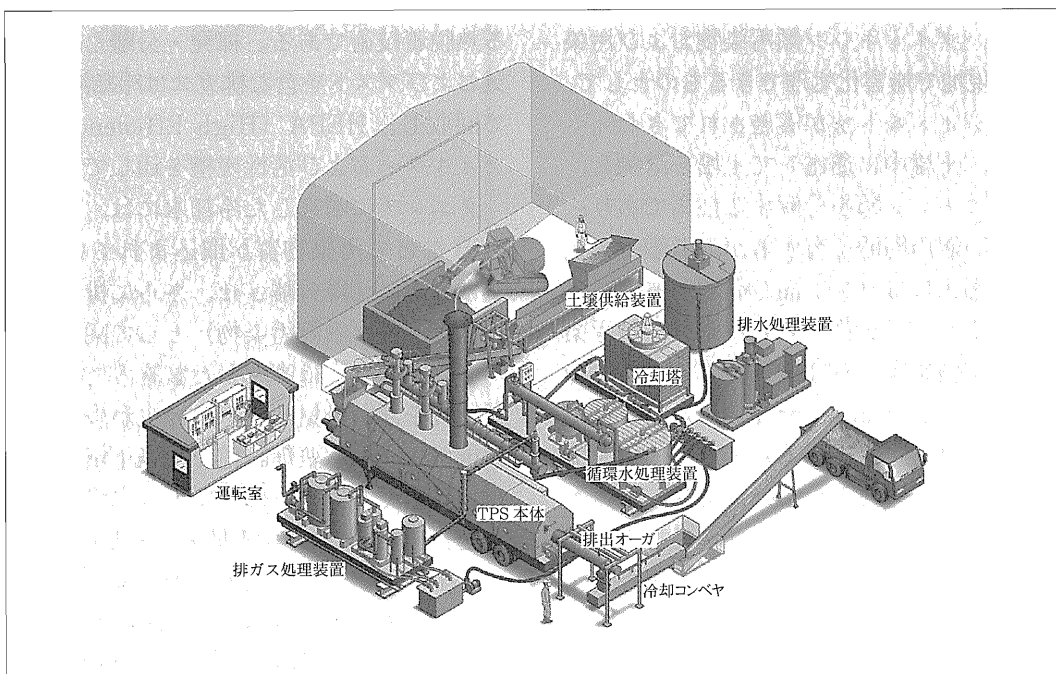
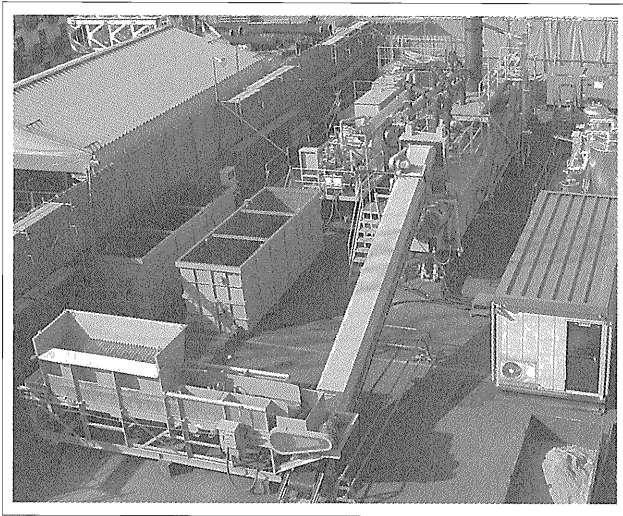
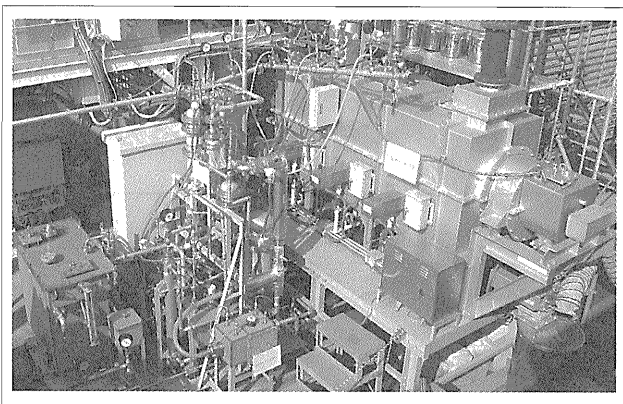


図-2 施工状況図



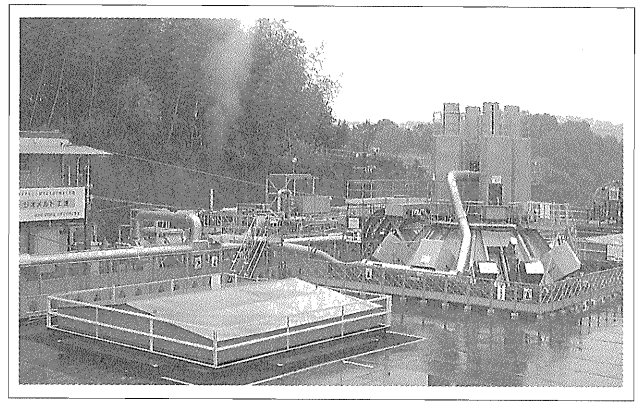
写真—1 TPS 法の実施工機



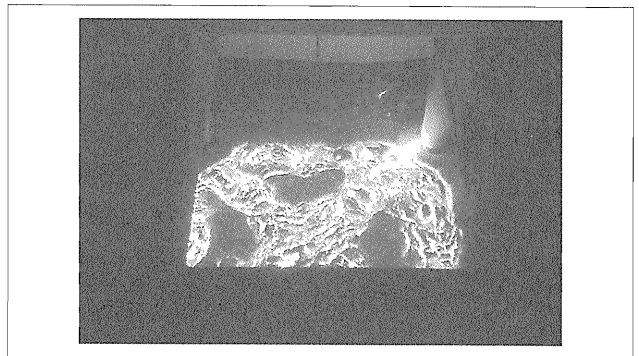
写真—2 TPS 法の試験機

(2) ジオメルト法の概要

ジオメルト法は、電気抵抗により発生するジュール熱で処理対象物質を高温に加熱することにより溶融し、溶融部の中心温度を1,600°C以上まで上昇させ、処理対象物中の汚染物質を高温熱分解して無害化する手法である。溶融体は自然冷却後、無害のガラス固化



写真—3 ジオメルト法の処理設備 (100t/バッチ)



写真—4 溶融状況

体となる。溶融処理はバッチ方式で行われる。

溶融中に発生する熱分解ガスは、炉の蓋であるオフガスフードで捕捉して2次加熱設備に導かれ、850°C以上の温度で2秒間以上の滞留により、溶融後の極微量の未分解物質も完全に分解処理される。さらに、オフガス処理設備で浄化し大気放出される。

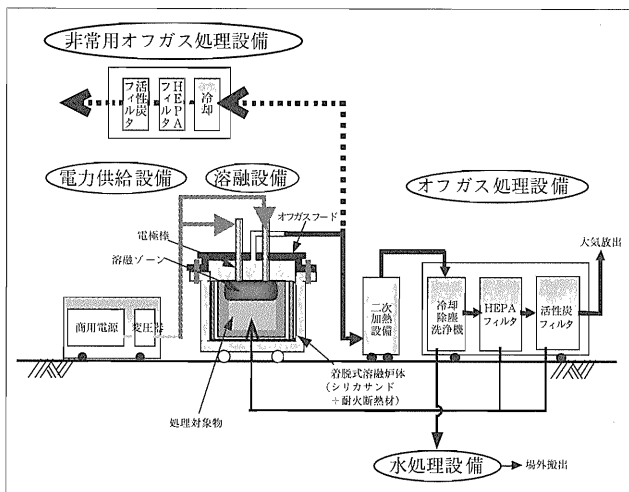
図—3にジオメルト法の処理フローを、写真—3に設置した地中式の100t/バッチ処理能力を有する設備を、写真—4に溶融状況を示す。

(3) 「TPS+ジオメルト」法の概要

「TPS+ジオメルト」法とは、TPS法を用いて汚染物質の分離・除去を行う分離工程と、ジオメルト法を用いて分離した汚染物質の分解処理を行う分解工程を組合せ、2段階に分けて処理を行う方法である。

ダイオキシン類汚染土壌を対象とした場合、分離工程は、

- ① 対象土壌をTPS設備で処理できるようにするための前処理工程（分別、篩分け、粒度調整（破碎）、混合・均質化）、
- ② TPS法により土壌を600°C～700°Cに加熱し、土壌からダイオキシン類を分離し浄化土壌を回収する分離・除去工程、



図—3 ジオメルト法の処理フロー

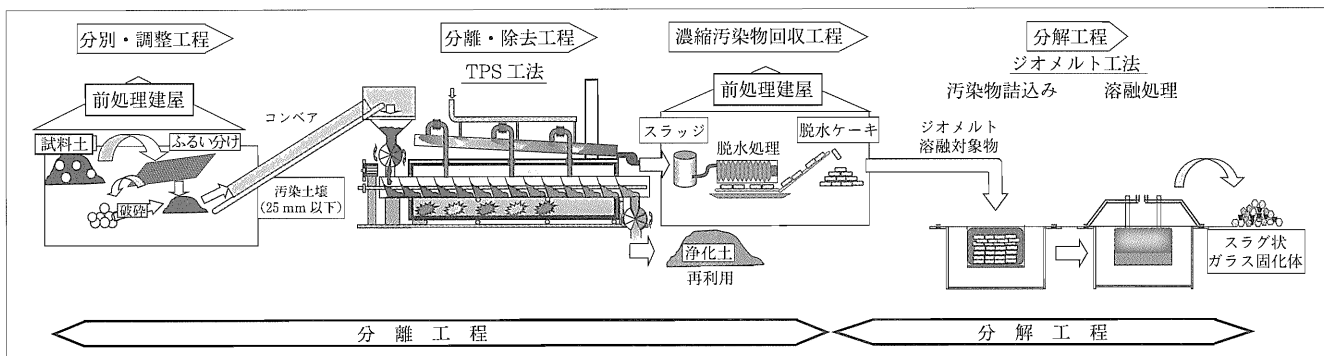


図-4 「TPS+ジオメルト」法の処理フロー

③ 土壌から分離したダイオキシン類を含むスラッジを排水処理し、脱水ケーキとして回収する濃縮汚染物回収工程、

の3工程からなり、濃縮汚染物量は処理対象土壌量に対して大幅に減量化される。

分解工程は、分離工程で回収したダイオキシン類を含む脱水ケーキ（濃縮汚染物）をジオメルト法により溶融処理し、ダイオキシン類を完全に分解、無害化する。

図-4に「TPS+ジオメルト」法の全体処理フローを示す。

3. 実施例

(1) 実証実験概要

「TPS+ジオメルト」法の実証実験は、実証実験場所に実施工機の設備を設置して実施した。試料土壌の

前処理工程は、飛散防止建屋内で第3管理区域に対応したレベル3の防護措置（エアラインマスク等）を施して作業を実施し、設備の運転状態を厳重に監視するとともに運転データを情報公開して安全管理に努めた。

表-1に実証実験の実験条件を、図-5に実験設備の設置状況を、写真-5に実証実験現場全景を示す。

表-1 運転諸元

項目	RUN 1	RUN 2	RUN 3					合計
			3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤	
処理温度 (°C)	656	679	682	693	693	695	696	
滞留時間 (min)	45	60	80	60	45	45	45	
時間当り処理量 (t/h)	1.45	1.11	1.23	1.23	1.23	1.30	1.02	
処理時間	57時間 25分	58時間 27分	16時間 10分	103時間 10分	35時間 55分	33時間 42分	32時間 49分	337時間 38分
	221時間 46分							
処理した土壌の量 (t)	83.2	65.0	19.9	126.8	44.1	43.9	33.4	416.3
			268.1					

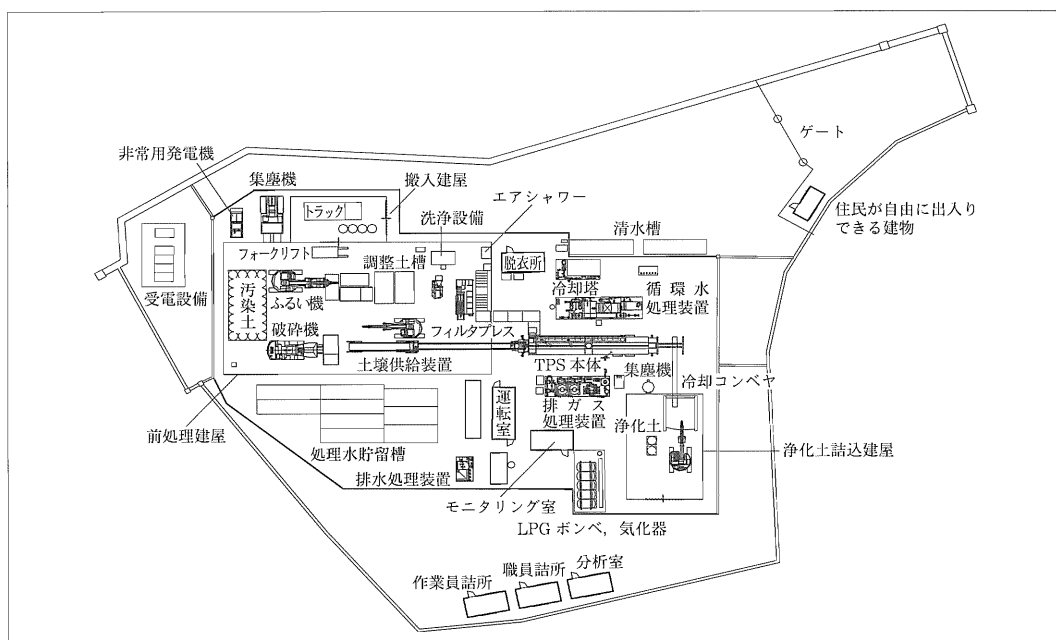
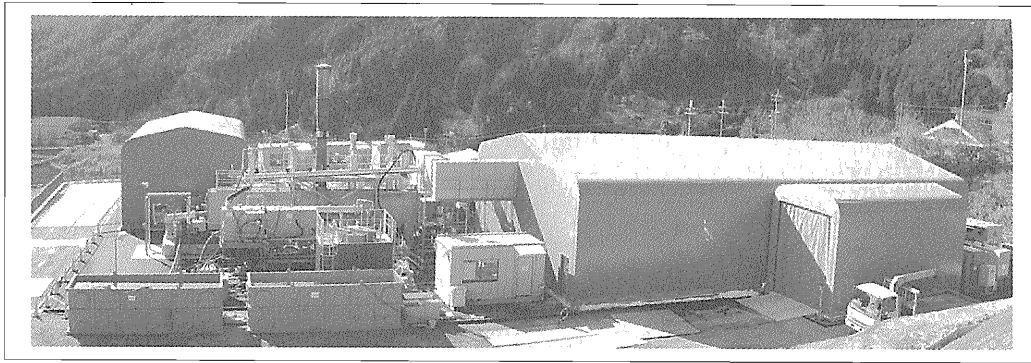


図-5 設備配置図



写真—5 実証実験現場

(2) TPS 法の実験結果

TPS 法のダイオキシン類汚染土壌の処理結果を表—2 に示す。

RUN 1, 2 では、処理土壌のダイオキシン類濃度が土壌環境基準値は満足したものの、目標値 (10 pg-TEQ/g) を超過し十分な浄化が出来ていなかった。しかし処理温度等を変更した RUN 3 では、当初の目標値を達成した。

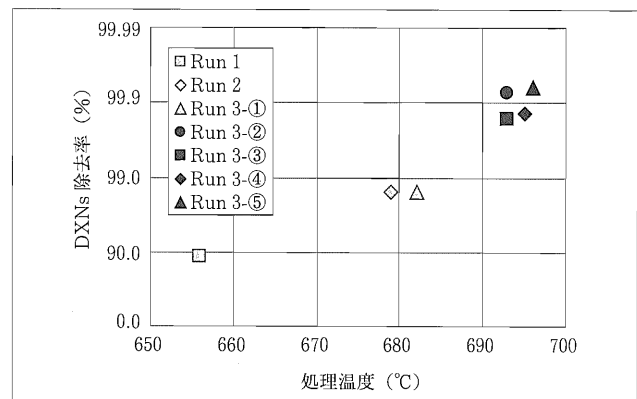
処理土壌は重金属も含め、全て土壌環境基準を満足し、再利用可能な状態であった。

土壌から分離したダイオキシン類は循環水中に捕捉されるため、循環水中のダイオキシン類は高い濃度を示したが、適切な排水処理を行うことにより処理水は環境基準値以下まで浄化された。

一方、大気放出ガス中のダイオキシン類は基準値を満足し、NO_x、SO_x、煤塵、重金属等も規制値を大幅に下回り、実験が安全に行われたことが確認できた。

図—6 に処理温度とダイオキシン類の除去率の関係を示す。

処理温度の上昇とともにダイオキシン類除去率の向上することが確認できた。



図—6 処理温度とダイオキシンの除去率

RUN 2, 3 では、排水処理で発生した脱水ケーキを試料土壌に混合して処理し、スラッジの回収量を削減することで、投入試料土壌量 416.3 t に対し脱水ケーキ量は 797 kg であり、濃縮汚染物の発生量を投入試料土壌量の 0.2% に抑えることができた。

(3) ジオメルト法の実験結果

最終的に脱水ケーキとして回収した濃縮汚染物をジオメルト法で無害化処理した。固化体の分析結果を

表—2 TPS 法のダイオキシン類濃度の分析結果

項目	管理基準値	RUN 1	RUN 2	RUN 3				
				3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤
試料土 ^{※1} (pg-TEQ/g)	10,000	1,800	4,900	1,700 ^{※4}	5,200	1,600	200 ^{※5}	6,400
浄化土 ^{※1} (pg-TEQ/g)	10	210	78	27 ^{※4}	3.9	2.6	0.28	4.0
除去率 (%)	—	88.3	98.4	(98.4)	99.9	99.8	99.9	99.9
脱水ケーキ ^{※1} (pg-TEQ/g)	(設定なし)	2,400	6,500	4,200		2,900		
大気放出ガス ^{※2} (ng-TEQ/Nm ³)	0.1	0.00024	0.000035	—	0.000015	0.000022	0.000012	0.000024
処理前排ガス ^{※2} (ng-TEQ/m ³)	(設定なし)	0.11	0.066	—	—	—	—	0.31
循環水 ^{※3} (pg-TEQ/L)	(設定なし)	12,000	21,000	61,000		15,000		
処理水 ^{※3} (pg-TEQ/L)	(設定なし)	0.31	0.15	0.14		0.074		

※1 分析用サンプルは複数採取した試料を混合・均質化している
 ※2 分析用サンプルは各運転時の処理が安定している間に採取している
 ※3 分析用サンプルは各 RUN 終了時 (RUN 3 前半は RUN 3-②終了時) に採取している
 ※4 HRGC/HRMS を用いた迅速分析結果。他は公定法での分析結果
 ※5 RUN 1 の浄化土を試料土とした

表-3 ジオメルト法の分析結果

項目	測定値
溶融対象物 (脱水ケーキ) (pg-TEQ/g)	2.900
溶融固化体 (pg-TEQ/g)	0*
大気放出ガス (ng-TEQ/Nm ³)	0.0024

*毒性等価係数を有する全ての異性体の実測濃度は定量下限値未満

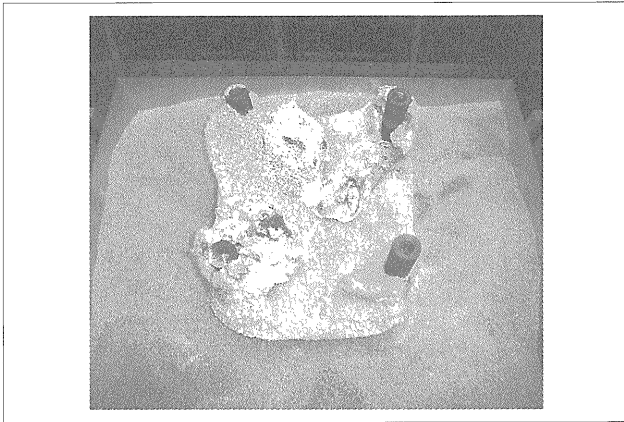


写真-6 溶融固化体

表-3に、処理後の溶融固化体の状況を写真-6に示す。

溶融固化体中のダイオキシン類は毒性等価係数を有する全ての異性体で定量下限値未満であり、ガス中のダイオキシン類も基準値を満足しており、ダイオキシン類の分解処理が安全に行われたことが確認できた。

4. おわりに

「TPS+ジオメルト」法でダイオキシン類汚染土壌を安全、确实、かつ周辺環境への影響を及ぼすことなく無害化処理することが可能であることが実証できた。

汚染土壌の処理としては外部搬出処分が検討対象となるが、汚染土壌は現地で無害化処理することで埋土として再利用が可能であり、ダイオキシン類汚染土壌やPCB汚染土壌は運搬および外部搬出処分先の安全

面に関するリスクで受入れが難しいのが現状であることから、現地処理が行える場合には積極的に導入していくことが重要と考えている。

現地処理を行うにあたり、外部搬出処分と現地処理のコスト差は、処理技術決定に際しての大きな要因である。このような中で、「TPS+ジオメルト」法は現地処理のコスト低減を実現した工法であり、汚染土壌の運搬や受入れ側のリスクが生じないという利点を生かし、今後、実工事への採用を積極的に図っていきたい。

最後に、開発および実証実験にご協力いただいた関係各位に感謝いたします。

JCMA

《参考文献》

- 1) 和歌山県環境生活部編集：高濃度ダイオキシンに克つ―「橋本市産廃問題」解決のプロセス―、ぎょうせい、平成17年1月
- 2) 環境省HP：「平成15年度ダイオキシン類汚染土壌浄化技術等確立調査」対象技術の評価結果等について、平成16年10月

【筆者紹介】



松生 隆司 (まついけ たかし)
株式会社鴻池組
大阪本店
土木技術部
機電グループ
課長



中島 卓夫 (なかしま たくお)
株式会社鴻池組
大阪本店
土木技術部
環境グループ
課長



竹島 正博 (たけしま まさひろ)
株式会社鴻池組
大阪本店
土木技術部
機電グループ
主任