

# 高濃度ダイオキシン類汚染物（廃棄物・土壌）の 現地無害化処理

保 賀 康 史・橋 敏 明・小 山 孝

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く、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きた。これらの汚染土壌に対し、現地溶融固化（ジオメルト）工法や、これと間接熱脱着（TPS）法を組み合わせた工法についての技術開発と実際の現地処理を行ってきた。ジオメルト法は高い浄化性能と広範囲の適用性を有するが、分離技術である間接熱脱着を組み合わせることで大量の低濃度汚染土壌についても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を実施した。本報文では、それぞれの処理技術と実工事の概要を報告する。

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、溶融固化、現地処理

## 1. はじめに

ダイオキシン類やPCBに由来する汚染土壌の処理対策を実施するにあたり、高濃度の場合は現地処理を選択されることが考えられる。その場合、確実に処理できる技術を用いることと作業員を被曝から守ることは必然として、コスト低減のみならず、いかに周辺環境へのリスクを低減し、地元住民の理解や技術への信頼性を得るかが重要で不可欠な要素となる。

本報文では、こうした点を中心にダイオキシン類やPCB汚染土壌を分解処理できる技術としてジオメルト工法およびこれにTPS（間接熱脱着）工法を組み合わせた方法、それぞれの事例の紹介を行う。

## 2. ジオメルト工法の概要

ジオメルト工法とは、処理対象物中に電極を挿入し、これに通電して処理対象物を電氣的に加熱することにより対象物を溶融し、また、自然冷却によって溶融体を固化するものである。溶融部の中心温度は1,600℃以上に上昇し、処理対象物中の有機化合物が高温熱分解されるとともに、揮発し易い重金属は気化して冷却除塵洗浄機で捕捉され、揮発しにくい重金属は固化体の中に閉じ込められる。そのため、有機物質と重金属からなる複合汚染物を同時に無害化処理できる特徴をもつ。処理設備の構成を図-1に示す。

処理設備は電力供給設備、溶融設備、オフガス処理設備から構成され、汚染サイトでの処理が可能なよう

に可搬式設備となっている。

なお、この技術は、(株)アイエスブイ・ジャパン（現在は鴻池組、大栄環境、インパクトサービスなど計7社出資）が国内における実施権を保有している。

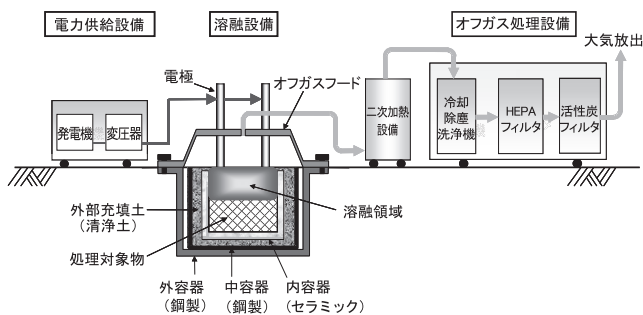


図-1 ジオメルト工法の設備構成

## 3. 和歌山県橋本市でのダイオキシン類汚染対策

(1) 汚染問題の原因と処理事業の実施に至った経緯  
和歌山県橋本市に産業廃棄物処理業者が平成6年頃より産業廃棄物を不法に持ち込み、野焼きを行ったことで周辺が煙や悪臭に包まれるようになった。そこで、業者は焼却炉を建設したが、昼夜を問わず焼却が行われ、黒煙、悪臭に悩まされた住民が「産廃処理場を撤去させる会」（以下「撤去させる会」と呼ぶ）を結成し、ダイオキシン類の調査、焼却施設および埋立廃棄物の撤去を求めた。これを受けて行われた和歌山県の調査では、焼却炉内や周辺土壌から100,000 pg-TEQ/gと

いう高濃度のダイオキシン類による汚染が確認され、和歌山県はダイオキシン類問題対策本部を設置して以下の3段階の対策をとる基本方針を決定した。

- ①応急対策：飛散防止シート敷設と立ち入り禁止措置の実施
- ②緊急対策：汚染の原因となった焼却施設の撤去およびそれとともなって発生したダイオキシン類汚染物の処理
- ③恒久対策：ダイオキシン類汚染土壌対策の実施

和歌山県は平成12年2月に応急対策を実施した後、3月には業者に対して高濃度ダイオキシン類汚染焼却施設の解体・処分および埋立廃棄物の撤去・処分等の措置命令を出したが業者は従わず、同年5月、和歌山県が措置命令に係る代執行を行うことになった。緊急対策の代執行業務を委託するにあたり技術提案を募集した。その結果、応募があったのは2技術で、焼却施設解体・汚染除去にともなって発生するダイオキシン類汚染物を県外で無害化処理する案と現地で無害化処理する案（ジオメルト工法）であった。

工法選定にあたり、和歌山県のダイオキシン類問題検討委員会は、橋本市のダイオキシン類汚染問題が当時既に全国的に報道されていたことから、「汚染物を場外で処理するとなると輸送経路や受入施設の周辺住民から反対が予想され、事業の実現性が危ぶまれる」と判断し、この事業阻害要因を回避するために汚染物の現地処理を採択した。

現地処理を採択したことに対して地元住民からは強い拒否反応が起こった。その理由としては、「過去に、長期にわたり昼夜を問わず行われた焼却の黒煙や異臭に悩まされたのに、また現地で処理をするのか」といった拒否感、実処理に初めて採用される技術に対する不安感等である。和歌山県、撤去させる会および工事を請け負った鴻池組による話し合いは1年に及んだ。この1年に及ぶ話し合いの結果、3者の間には次第に信

頼関係が築かれ、事業成立に向けて率直に話し合える環境が熟成された。しかし、撤去させる会（周辺3地区）の総意を確認する必要があるため、3地区でそれぞれ意思確認が行われた。こうして、平成13年4月にジオメルト工法によるダイオキシン類汚染物の現地無害化処理の受け入れが最終合意され、ジオメルト工法に関する環境保全協定が締結された。この中には住民の意志に基づき、現場内への立ち入りや分析データの公表等、情報公開の原則が明記された。このようなりスクコミュニケーションにより、技術への理解と相互の信頼関係構築に努めながら本工事は実施された。

## (2) 焼却施設の解体およびダイオキシン類汚染物の無害化処理（緊急対策）

焼却施設は、焼却炉（処理能力：4.8t/日）と排煙装置からなり、最大250 ng-TEQ/gの高濃度のダイオキシン類で汚染されていた。解体前の焼却施設を写真-1に示す。この焼却施設の解体計画中に、大阪府内の焼却施設解体工事に従事した作業員の血中から高濃度のダイオキシン類が検出されるという、ダイオキシン類による曝露が報道され、労働省より焼却施設解体に従事する作業員の健康障害防止等を定めた通達が示された。そのため、この通達の基本フローに基づき作業計画を見直し、解体作業を実施することとした。

焼却施設の解体用設備配置図を図-2に示す。汚



写真-1 解体前の焼却施設全景

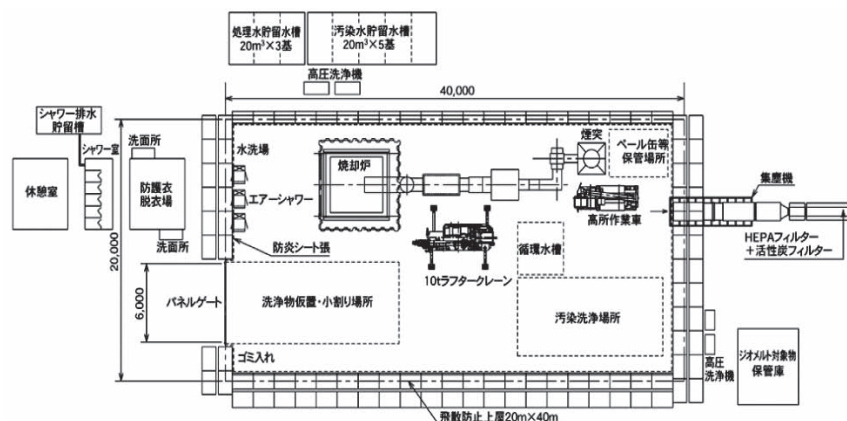


図-2 解体用設備



写真一2 大バラシ状況

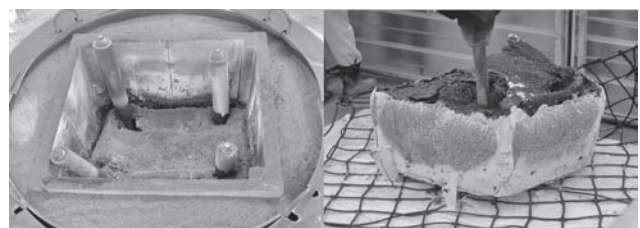


写真一3 洗浄状況

染物が付着した状態での溶断作業は、ダイオキシン類が気化する可能性があるため、まず手持ち工具で排煙装置等の大バラシを行った（写真一2）。大バラシした排煙装置や焼却炉内レンガに付着した粉じんの除去には、湿式洗浄（高圧水洗浄）を採用した（写真一3）。洗浄時に洗い出された焼却灰（120 ng-TEQ/g）や浮き鏽（74 ng-TEQ/g）等を含むダイオキシン類汚染物は、無害化処理対象物として二重のポリエチレン製の袋に詰めてペール缶に密閉保管（合計1,370缶）した。

また、環境保全協定書に基づき、焼却炉解体中は周辺への影響をモニタリングするため、敷地境界4箇所粉じんおよびダイオキシン類濃度の測定を行った。結果は、環境基準（0.6 pg-TEQ/m<sup>3</sup>）を十分下回っており、作業着手前と変わらず周辺に影響を与えていないことが確認できた。

焼却施設の解体にともなって発生したダイオキシン類汚染物は、小型のジオメルト設備（1回の処理能力が1t）を用いて無害化処理した。汚染物の溶融設備への詰め込み作業および固化体の取り出し作業は、全て撤去させる会の立会いの下で行われた。溶融処理後に生成した固化体を写真一4に示す。



写真一4 溶融後の固化体

溶融処理中のダイオキシン類モニタリング結果や処理後の固化体の分析結果から以下のことを確認した。

- ① オフガス処理設備からの大気放出ガス中のダイオキシン類濃度は0.015～0.0042 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>で、排出基準値（0.1 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>）を大きく下回った。
- ② 溶融処理中の敷地境界の大気中ダイオキシン類濃度は、大気環境基準値（0.6 pg-TEQ/m<sup>3</sup>）を十分下回った。
- ③ 固化体中のダイオキシン類濃度は0.011～0.16 pg-TEQ/gで99.9999%以上の分解・除去率であり、土

壤環境基準（1,000 pg-TEQ/g）を大きく下回った。

また、固化体の溶出試験の結果より、固化体からの重金属類の溶出はいずれも不検出であった。これらの結果より、ダイオキシン類汚染物が確実に無害化処理され、処理にともなう周辺環境への影響もないことが確認された。なお、ここで発生した固化体は、路盤材として再利用した。

### （3）焼却施設周辺の汚染土壌の無害化処理（恒久対策）

焼却施設から発生する煙等によりダイオキシン類に汚染された土壌は、同心円状に狭い谷間に広がる分布となっており、処理対象となる1,000 pg-TEQ/g以上の汚染土壌は約2,602 m<sup>3</sup>であった。汚染土壌の処理方針は、和歌山県、橋本市ならびに撤去させる会の三者に学識経験者を交えて設置した恒久対策協議会で検討され、1,000～3,000 pg-TEQ/gの土壌はコンクリートボックスによる封じ込め、3,000 pg-TEQ/g以上の汚染土壌については無害化処理を実施することに決定された。無害化処理方法の選定は、インターネットを通じて一般公募を行った。応募のあった技術の中から恒久対策協議会が協議を重ねて数技術を選定し、公開のプレゼンテーションを行った。住民側は、3地区それぞれの意見を集約し、最終的にジオメルト工法が選択された。

#### （a）汚染土壌の掘削および分級

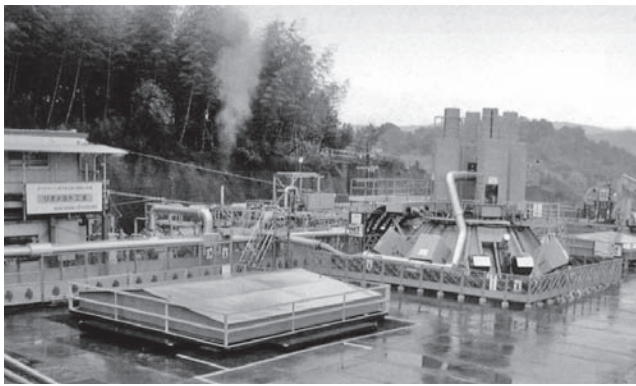
汚染土壌の掘削は、掘削エリアの周囲をシートで囲い、なおかつ掘削箇所は局所吸引を行うことでダイオキシン類の周辺への飛散を防止した。

掘削した汚染土壌のうち廃棄物の混合割合が多い物については、ダイオキシン類を含む粉じんが周辺に飛散しないように設置した分別・洗浄建屋内に持ち込み、振動スクリーンにより20 mm以下の土壌を篩い分けた。また、20 mm以上のものについては、比重選別機により可燃物とがれきに分け、がれきと20 mm以下の土壌はジオメルト工法で無害化処理を行った。一方、可燃物については高圧水洗浄を行い、付着している汚染土壌を洗い流した後、産業廃棄物として処理した。

なお、掘削および分別作業は、作業員への曝露を考慮して「廃棄物焼却施設解体工事におけるダイオキシン類による健康障害防止について」（平成12年9月7日基発第561号の2）に準拠して行った。

#### （b）ジオメルト工法による汚染土壌の無害化処理

汚染土壌の処理には1回の処理能力が100 tのジオメルト設備を用いた。写真一5に示すように3基の溶融ピットを設置して本体を順次移動して稼働させ、それ



写真一五 恒久対策で使用された処理能力100tのジオメルト設備

それぞれのピットで「汚染物設置→溶融→固化体取り出し」のサイクルを効率良く行えるような設備配置とした。

現地では、平成15年8月までに計670m<sup>3</sup>の高濃度汚染土壌をジオメルト工法によって浄化した。その後、1,000～3,000 pg-TEQ/gの低濃度汚染土壌をコンクリートボックスへ封じ込めて平成16年3月に恒久対策が完了した。

恒久対策における周辺および作業環境モニタリング結果や固化体の分析結果等については、解体廃棄物処理時と同様に、環境基準等を満足するものであった。

#### 4. 「TPS + ジオメルト」工法について

##### (1) 現地処理事業のコスト低減に向けた取り組み

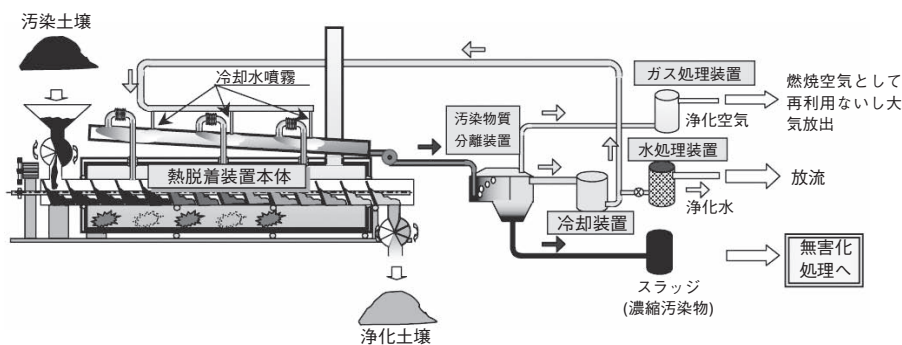
ジオメルト法は、高い浄化性能と広い適用範囲を有するが、低濃度で大量に存在する汚染土壌への適用にはコスト面で問題があった。そこで、海外においてPCBやダイオキシン類汚染土壌に関し多くの実績を有する間接熱脱着工法の一つであるTPS (Thermal Phase Separation) 法(図一3参照)を技術導入し、TPS法で汚染物質を土壌から分離して大部分の土壌を浄化回収することとした。

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(図一4参照)を、大量に存在する比較的低濃度な汚染土壌の現地無害化処理に提案し、「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」<sup>3)</sup>において実規模の実証実験を実施した。

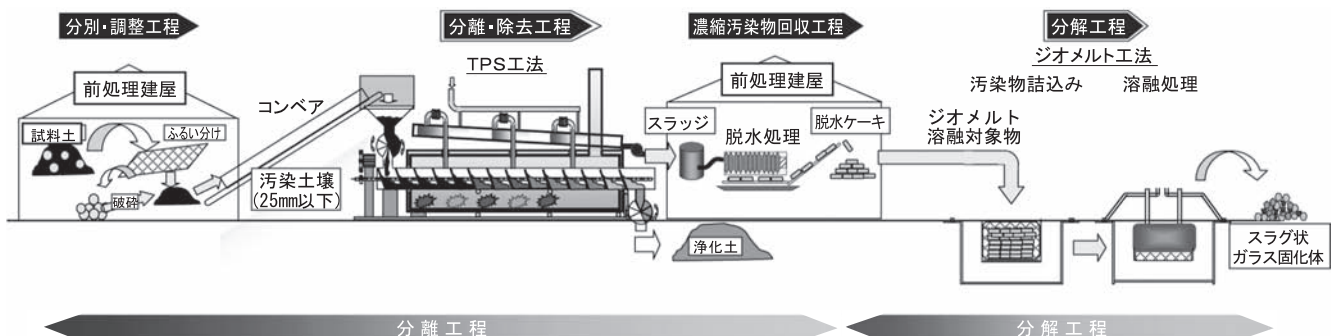
##### (2) 「TPS + ジオメルト」法の概要<sup>5)</sup>

「TPS + ジオメルト」法とは、TPS法を用いてダイオキシン類やPCBsなどの難分解性汚染物質の分離・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み合わせ、2段階に分けて処理を行う方式である。

ダイオキシン類汚染土壌を対象とした場合、分離工程では、対象土壌をTPS設備で処理できるようにす



図一三 TPS法のシステムフロー



図一四 「TPS + ジオメルト」法の一般的処理フロー

るための前処理工程(分別・篩い分け・粒度調整[破碎]・混合・均質化), TPS法により土壌を600℃~700℃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, 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熔融処理し, ダイオキシン類を完全に分解・無害化する。なお, 構成する設備は移動式プラントとなっているため現地処理が可能である。

## 5. 「TPS + ジオメルト」法による現地無害化処理

### (1) 汚染の経緯

大阪府北端に位置する豊能郡環境施設組合の美化センターは, 昭和63年4月に稼動を始めた一般廃棄物の流動床式焼却施設であり, 処理能力は一日16時間稼動で53tであった。この施設で, 平成9年6月に実施した排ガス測定において, 180 ng-TEQ/m<sup>3</sup>の高濃度のダイオキシン類が検出され, 問題が発覚した。

排ガス中のダイオキシン類が高い値を示したことから, 周辺地盤について調査されたところ, 翌年には, 焼却炉敷地内や周辺の農場, 山林など, 美化センター敷地外を含む広い範囲での土壌汚染が判明し, その対策が求められた。

その後, さまざまな紆余曲折を経て<sup>6), 7)</sup>, 鴻池組が汚染土壌の現地無害化処理を行い, 平成19年6月に処理を完了した。

### (2) 現地の緊急対策

現地では, 土壌汚染判明後, 1,000 pg-TEQ/g以上の土壌が認められた範囲(約27,000 m<sup>2</sup>)を対象として, 豊能郡環境施設組合により表層20 cmの土壌の除去がなされ, 撤去した土壌の一部はフレキシブルコンテナバッグに詰めて倉庫に保管され, 残りは現地に管理型処分場相当の汚染土壌保管施設を設けて保管された。

### (3) 無害化処理技術の選定

豊能郡環境施設組合は, 過度に問題が複雑化した汚染土壌の場外搬出が困難なことから, 地元住民との協議を経て, 現地での無害化処理の方針を決定した。その後, 平成14年以降に実施した環境省の現地実証調査結果等を受けて, 環境施設組合や地権者・住民およ

び処理技術の専門家からなる「ダイオキシン類汚染土壌浄化技術検討委員会」を設置し, 現地無害化処理技術の比較検討を行った。その結果, 「TPS + ジオメルト法」が, 地元にとってより安心できる浄化技術として望ましい」という評価が得られ, 「TPS + ジオメルト法」による現地無害化処理が採用されることとなった。



写真—6 間接熱脱着装置

### (4) 工事の概要と処理実績

工期: 平成17年8月10日~平成19年7月31日  
 工事内容: 「TPS + ジオメルト法」による保管済みダイオキシン類汚染土壌の現地無害化処理  
 対象土量: 約11,200 t

本工事に適用した基準を表—1に, 処理にともなう排出物の濃度等を表—2に示す。

表—1 管理基準値

項目	管理基準		
	項目	値	単位
排出	排ガス	0.1	ng-TEQ/m <sup>3</sup>
	建屋排気	0.1	ng-TEQ/m <sup>3</sup>
	浄化土壌	10	pg-TEQ/g
	熔融固化体	10	pg-TEQ/g
	雨水排水	1	pg-TEQ/L
周辺環境	大気	0.6	pg-TEQ/m <sup>3</sup>
	環境水	1	pg-TEQ/L
	土壌	1,000	pg-TEQ/g

表—2 処理および排出状況確認のモニタリングの結果一覧

対象	単位	実測値	管理基準	備考
汚染土壌	pg-TEQ/g	150~1,600	10,000	
浄化土	pg-TEQ/g	0 <sup>※1</sup> ~3.1	10	平均で0.16
廃水処理水	pg-TEQ/L	0.022~7.0	—	
TPS装置からの大気放出ガス	ng-TEQ/m <sup>3</sup>	0.0000011~0.00060	0.1	
ジオメルト熔融固化体	pg-TEQ/g	0 (0.002) <sup>※2</sup>	10	全ての異性体で検出下限未満
ジオメルト装置からの大気放出ガス	ng-TEQ/m <sup>3</sup>	0.00010	0.1	
前処理建屋からの排出空気	ng-TEQ/m <sup>3</sup>	0.0000030~0.000031	0.1	

※1: 毒性等価係数(TEF)を有する全ての異性体の実測濃度が, 検出下限未満もしくは定量下限未満であったことを示している。

※2: 各異性体の実測濃度を定量下限の1/2として毒性当量を算出した参考値を括弧書きで示す。

本工事は、既に一度汚染した場所での工事であることから、工事ともなうダイオキシン類の環境中への排出については特に注意を払って実施するとともに、浄化した土壌のダイオキシン類濃度についても、特に厳しい基準を設けて施工を行った。

## 6. おわりに

今回、ダイオキシン類およびPCB汚染土壌の処理技術として紹介したジオメルト工法、TPS工法は、関係行政や発注者、地元住民の厳しくかつ適切な評価を受けながら実工事に適用し、成果を上げることができた。今後とも技術の信頼性向上やコスト削減に尽力し、より安全確実な処理技術の確立を目指したい。



### 《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, 2005.
- 2) 橋敏明：和歌山県橋本市の不適正産廃処分場跡地における高濃度ダイオキシン類汚染土壌の現地無害化処理および復旧プロジェクト, 第23回土木施工技術研修会, pp.3～8, 2005.9

- 3) 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, 2004.10
- 4) 小山孝・橋敏明, 他：TPS + ジオメルト法によるダイオキシン類汚染土壌の無害化処理, 第40回地盤工学研究発表会, 2005.7
- 5) 中西康雄：豊能郡美化センターのダイオキシン類対策, 環境技術, Vol.35, No.5, pp.362～366, 2006.5
- 6) 中島卓夫：ダイオキシン類汚染土壌の現地無害化処理工事, 第25回土木施工技術研修会, '07.7, 2007.7

### 【筆者紹介】



保賀 康史 (ほが やすし)  
 (株)鴻池組  
 東京本店 土木技術部 環境グループ  
 部長



橋 敏明 (たちばな としあき)  
 (株)鴻池組  
 東京本店 土木部  
 主任



小山 孝 (こやま たかし)  
 (株)鴻池組  
 大阪本店 土木部  
 主任