

# 電解還元法による鉛汚染土壌の浄化技術

大 島 穰\* 岩 谷 泰 三\* 下 村 達 夫\*\*

## An Innovative Lead-contaminated Soil Remediation Technology-The Electrolysis Reduction Process

by Yutaka OSHIMA, Taizo IWATANI, & Tatsuo SHIMOMURA

An electrolysis-reduction process for remediation of lead-contaminated soil has been developed. This process can accept lead-contaminated silt slurry discharged from a soil-washing process. It is capable of reducing the contamination level to Japan's national criteria for fill-back at the source. This process is unprecedented for remediation of heavy-metal contaminated soil in that no off-site dumping becomes necessary.

An electroplating method was applied for the deposition of lead extracted from contaminated silt. Lead in sparingly soluble forms could be extracted from silt, under low pH and reductive potential in the electrolysis reactor. The deposition of metal-lead on the electrode reduces lead-ion concentration in the liquid phase of the silt slurry and enables efficient extraction of lead from the silt.

**Keywords:** Electrolysis-reduction process, Contaminated soil, Soil remediation methods, Soil-washing, Lead, Heavy-metal, Plating

### 1. 重金属汚染土壌浄化工法について

従来、重金属汚染土壌の浄化工事は、主に掘削場外搬出処分工法が採用されてきた。これに対し、オンサイト処理で、安価で、かつ、場外搬出量が少ない、環境を考慮した工法として、分級洗浄法が採用され始めている。この工法は、重金属汚染物質が細粒分に付着しやすい特性を利用した方法であるが、濃縮された汚染細粒土壌として10～30%は場外搬出処理しなければならないという短所も残している。

この分級洗浄の短所の解消法として、塩酸等での酸洗浄による浄化方法があるが、酸洗浄だけでは十分な効果を得ることは困難である。

これに対し、今回紹介する電解還元法を、分級洗浄法の後段に設置することにより、分級洗浄法で分級した濃縮汚染細粒土壌をオンサイトで処理し、更に、埋め戻しも可能になった。図1に重金属汚染土壌浄化工法の比較を示す。

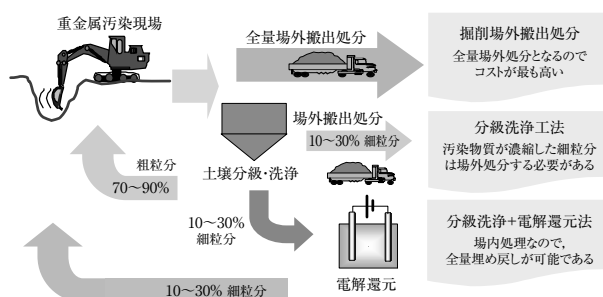


図1 重金属汚染土壌浄化工法比較

Fig. 1 Comparison in remediation methods for heavy-metal contaminated soil

### 2. 電解還元法の原理説明

現在対象としている重金属は鉛である。

図2は、鉛の電位-pH図である。縦軸に酸化還元電位を、横軸にpHを表し、鉛が存在する形態との関係を示している。上部の「水和酸化皮膜による不動態域」と示した部分が、土壌に吸着している形態に近い状態と考えられている。下部の「不感域」と示された部分は、安定した鉛単体の状態を示している。この「不動態域」と「不感域」に挟まれた「溶解腐食域」が、鉛が溶液に溶け出した状態を示すエリアである。

図中の矢印①は、pHだけが変化しており酸洗浄を示し

\* 環境事業カンパニー 環境総合事業本部 産業水処理事業統括部 環境修復室 環境修復第一グループ

\*\* (株)荏原総合研究所 生物研究室

月刊 地球環境, 2006年4月号, p100, 101.  
JETI 2006年12月臨時増刊号, p124~126.

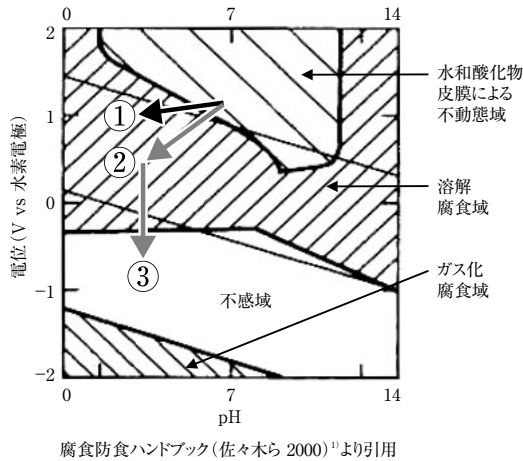


図2 鉛の電位-pH図

Fig. 2 Potential-pH-equilibrium diagram for lead-water system

たものである。これに対し、矢印②③で示したものが、電解還元法に当たる。つまり、電解還元法はpHを下げるのと同時に酸化還元電位も下げること(②)で、鉛が溶出し易い状況を作って溶出させるとともに、酸化還元電位を下げること(③)で、鉛を析出させる方法である。連続して析出させることで、溶液中の溶解鉛の飽和を防ぎ、液中鉛の溶解度を維持することにもつながる。溶解だけでなく析出まで実施することにより、効率的な鉛の溶出システムを確立することができるようになった。

図3は電解還元反応の模式図である。電解還元槽に汚染土壌を規定量の塩酸でスラリー状態にして供給し、電極に電流を流した状況を示している。

汚染土壌に吸着している難溶性の鉛は、酸性でかつ電位が下げられた状態になり、溶出が始まる。溶出した鉛は、マイナス側電極で電子を受け取り、鉛として析出する。プラス側電極では、水が分解して電子を供給している。

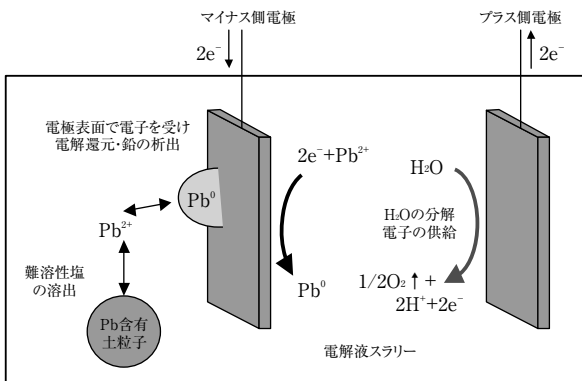


図3 電解還元反応模式図

Fig. 3 Schematic diagram of electrolysis-reduction reaction

### 3. ラボ試験結果

図4は鉛の除去率を比較したグラフである。酸洗浄だけの場合と、酸化還元電位を下げた場合の鉛除去率の比較をしたものであり、1~4点/条件の結果をまとめたものである。

酸洗浄だけでは、15分後には85%、60分経過した後も90%までしか除去できなかった。これに対し、酸洗浄に加えて酸化還元電位を下げた場合には、15分後には96%の除去が、更に、30分経過後には99%まで除去率が上がった(鉛除去率=除去鉛/初期鉛の割合)。

図5は、処理土壌の鉛濃度の経時変化を表したグラフである。

初期濃度3000~5000 mg/kgでは、1時間ほどで土壌含有量基準値(150 mg/kg)まで到達している。また、初期濃度20000 mg/kgでは、グラフの傾きから3時間ほどで基準値まで到達することが予想された。

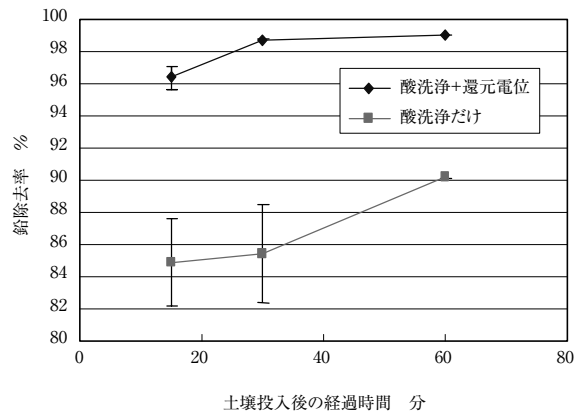


図4 鉛除去率の比較

Fig. 4 Comparison in reduction rate of lead

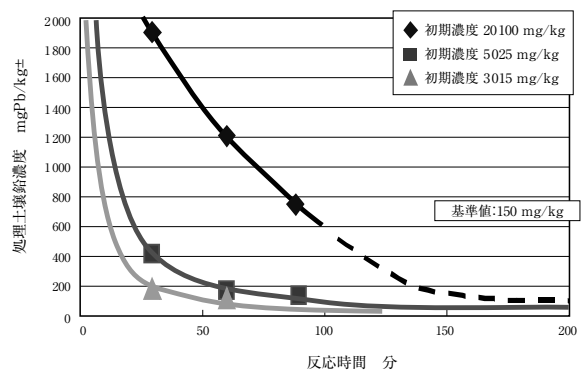


図5 処理土壌濃度の経時変化

Fig. 5 Reduction in lead-concentration of soil in the electrolysis reactor

#### 4. 具体的な浄化システムの紹介

図6に示したように、分級洗浄装置と電解還元装置は、ともに現地に設置されて処理が行われる。土壌掘削した後に、分級洗浄装置に投入され、粗粒分と濃縮汚染細粒土壌に分けられる。分級された粗粒分は基準値を満たしていることを確認した後に、場内に埋め戻す。濃縮汚染細粒土壌は、電解還元装置に移し、電解還元処理の後に、浄化した土壌は清浄土として埋め戻し、分離した重金属回収物は、場外搬出を行い、再利用ができる。分級洗浄に使う洗浄水や電解液は循環使用し、排水を極力おさえて運転を行うことができる。

図7は、電解還元システムの例である。電位がかけられるように電極をもった電解還元槽に、分級洗浄処理後のスラリーを受け入れ、電解還元処理を行い、処理土の

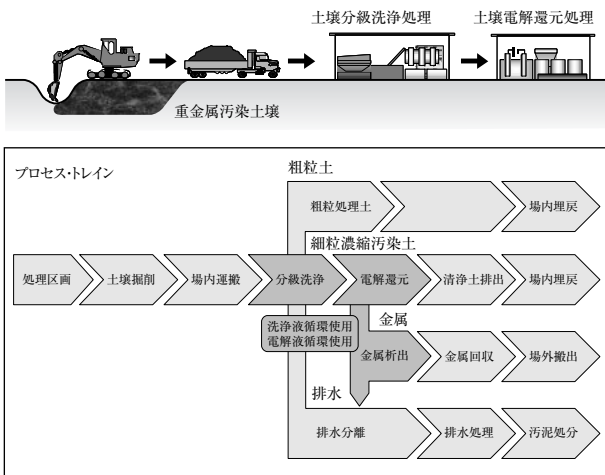


図6 分級洗浄+電解還元法イメージ図

Fig. 6 Schematic diagram of the soil-washing and electrolysis-reduction process

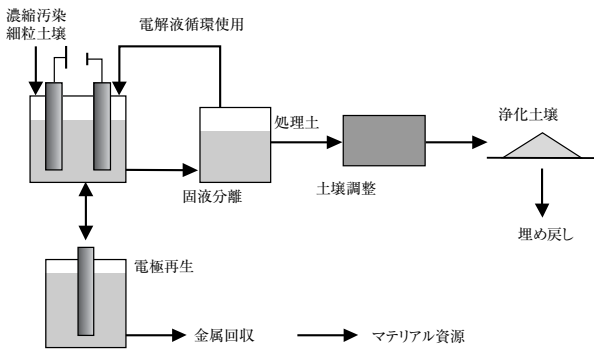


図7 電解還元システム例

Fig. 7 Schematic diagram of the electrolysis-reduction and metal-recycle system

固液分離を行う。電解液は再利用し、処理土は土壌調整を行った後に埋め戻す。電極は定期的に再生を行い、電極に析出した鉛を分離回収し、マテリアル資源として利用することができる。

#### 5. 実証プラント

2005年11月から約3箇月間、電解槽容量が1.5 m<sup>3</sup>のプラントによる鉛汚染土壌の浄化試験を行った(写真)。

ラボ試験と同等の鉛除去性能が確認できた(表1)。



仕様  
 電解装置容量：  
 1.5 m<sup>3</sup>  
 設備規模：  
 10 m × 15 m × 5 m 高さ  
 電気容量：  
 200 V × 80 kW  
 処理量：  
 0.1 ~ 0.5 t-drysoil/バッチ

07-64 01/216

写真 実証プラント

Photo The external appearance of the pilot plant

表1 パイロットプラント運転結果

Table 1 Pilot plant operation results

	鉛初期濃度	基準値到達時間
ラボ試験	450 mg/kg	60分
	300 mg/kg	30分
パイロットプラント	500 mg/kg	70分
	350 mg/kg	50分
	300 mg/kg	20分

#### 6. 工法の比較

表2は、「場外搬出処分工法」と「分級洗浄+電解還元工法」による浄化工事の特徴を比較したものである。周辺環境への影響、特に周辺住民へのストレスという点で見ると、「場外搬出処分工法」は、搬出入のダンプの往来が激しく、騒音やホコリ等によるストレスが高まる。これに対し、「分級洗浄+電解還元工法」は、土壌の搬出入がないためストレスが少なく、周辺住民への影響はほとんどなくなる。

また、環境影響範囲という視点では、「場外搬出処分工法」では、汚染土壌の処分先や埋め戻し用土壌の掘削現場や切り出し場等と、大きな範囲で敷地外との関係をもたなければならないが、「分級洗浄+電解還元工法」

表2 浄化工法の比較  
Table 2 Comparison in methods for heavy-metal contaminated site remediation

	場外搬出処分工法	分級洗浄+電解還元工法
周辺環境への影響 (住民へのストレス)	・ダンプの搬出入頻繁 ・騒音・ホコリ等の周辺環境への影響大	・土壌の搬出入なし ・大きな騒音を出す機械はなく、周辺環境への影響小
環境影響範囲	・汚染土壌処理場、埋め戻し土掘削場等、 エリア外へ影響を及ぼす	・エリア内で掘削・処理・埋め戻しを行う ・洗浄水・電解液を循環使用し、排水もほとんどでない
処理能力	・ダンプ10～30台 (60～180 m <sup>3</sup> )/d程度	・15 m <sup>3</sup> /h (120 m <sup>3</sup> /d) 程度

では、少量の廃棄物がでるだけで、ほとんどを敷地内の範囲で浄化工事を完了させることができる。

処理能力は、状況によるが、場外搬出処分の場合、1日にダンプ10～30台(60～180 m<sup>3</sup>)の搬出を行うのに対し、分級洗浄法と電解還元法の組み合わせ方式では、15 m<sup>3</sup>/h程度(120 m<sup>3</sup>/d相当)の処理を想定しており、大きな差はないと考えられる。

## 7. まとめ

重金属汚染土壌の処理となると、場外搬出処理と考えがちであるが、分級洗浄法と電解還元法を組み合わせることで、オンサイトでの処理を行うことができるように

なった。

これは、pHだけでなく、酸化還元電位を同時に下げることで、難溶性の鉛を溶解することができるようになった結果、分級洗浄法で分離された濃縮汚染細粒土壌をオンサイトで処理して埋め戻すことが可能になったからである。これにより、周辺住民へのストレスを減らして、かつ、安価な処理の可能性を高められた。

## 参考文献

- 1) 佐々木英次ら(2000), 腐食・防食ハンドブック, 社団法人腐食防食協会編, pI-1-7.

