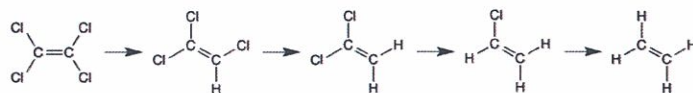


# 講演要旨集

## シンポジウム

原位置由来微生物コンソーシアを利用する  
バイオオーグメンテーション法の開発と  
沖縄県内汚染土壌への利用



■ 日時：2016年10月20日(木) 14:00～16:35

■ 会場：ロワジュールホテル&スパタワー那覇  
スパタワー3階「ていだ」

— プログラム・目次 —

- 14:00~14:10 主催者挨拶  
平野 隆（一般社団法人沖縄総合科学研究所）
- 14:10~14:20 事業概要説明 ……………2  
「原位置由来微生物コンソーシアを利用するバイオオーグ  
メンテーション法の開発と沖縄県内汚染土壌への利用」  
養王田 正文（東京農工大学大学院 工学研究院  
生命機能科学部門 教授）
- 【講演】**
- 14:20~14:50 「沖縄の技術で開発した沖縄由来微生物による沖縄県内汚染土壌の  
浄化」 …………… 4  
養王田 正文（東京農工大学大学院 工学研究院  
生命機能科学部門 教授）
- 14:50~15:20 「最新の原位置浄化技術について」 …………… 6  
小松 大祐（株式会社アイ・エス・ソリューション）
- 15:20~15:50 「VOC(揮発性有機化合物) 浄化用微生物の開発と安全性評価」 12  
福田 雅夫（長岡技術科学大学大学院 工学研究科  
生物機能工学専攻 教授）

～ 休憩 ～

- 【パネル討論】**
- 16:05~16:35 テーマ「沖縄から発信する土壌汚染対策 2016」 ……………16  
■司会・進行 平野 隆  
■パネリスト 小松 大祐、福田 雅夫、矢木 修身、養王田 正文  
(五十音順)



## 最新の原位置浄化技術について

株式会社アイ・エス・ソリューション

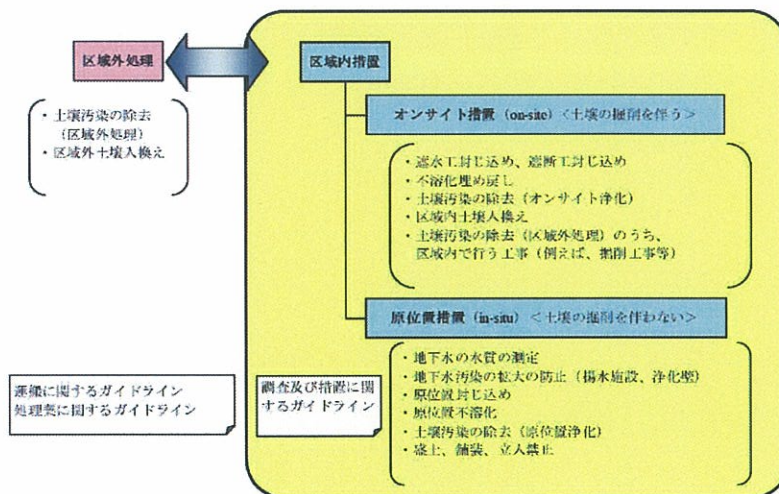
小松 大祐

### 1. 原位置浄化について

土壤汚染対策法が 2003 年に施工されたが、それ以前から、様々な土壤汚染対策が日本各地で実施されている。土壤汚染対策には、大きく分けて、場外に汚染土壤を搬出して処理する工法（区域外処理）と場内で処理する工法（区域内措置）があるが（図 1）、一般的に、汚染土壤を場外に搬出して処理する区域外処理は、場内で処理する区域内措置と比較し、土留め等の仮設費用や汚染土壤の運搬処分費用にコストがかかる。一方、汚染土壤を場内で処理する区域内措置は、オンサイト浄化と原位置浄化があるが、特に原位置浄化は土壤を原位置で処理する工法のため、他工法と比較し仮設費用が抑えられることから低コストであること、汚染土の移動による汚染の拡散リスクが低いこと、排水等の廃棄物の発生が少なく環境負荷が少ないこと等から、優れた浄化工法の一つといえ、特に大規模案件において威力を発揮する。しかしながら、土壤汚染対策法において原位置浄化の措置完了条件は、地下水の基準適合を 2 年間継続することとされており、そのハードルは高い。この高いハードルをクリアするためには、事前に対象物質の種類、対象地の土壤・地下水の性質、汚染の分布、トリータビリティ試験結果等の様々な情報を正確に把握することや、正しい情報に基づいた適切な浄化対策工事の設計、また、薬剤を適切に供給する施工技术等、様々なノウハウが要求される。

また、原位置浄化には高濃度汚染には不向きという欠点がある。既存の原位置浄化工法では、化学的な酸化分解や還元分解、微生物分解等が

挙げられるが、高濃度汚染はどの工法も期間を要する場合や、適用できない場合がある。このような課題を解決するためには、他工法との組み合わせを検討したり、新しい技術を開発・導入等する必要がある。そこで弊社では塩素化 VOCs を対象



（土壤汚染対策法に基づく 調査及び措置に関するガイドライン（改訂第2版）より抜粋）

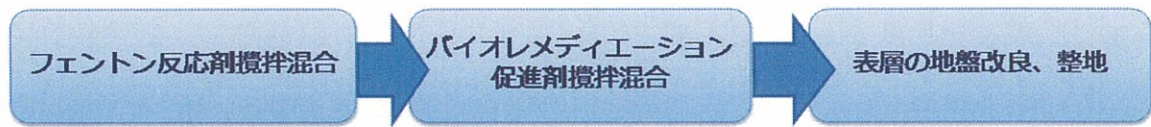
図1 土壤汚染対策工法の分類

として、フェントン反応による酸化反応と嫌氣的なバイオレメディエーションを組み合わせた複合工法の開発や、ヒーターを用いた原位置熱脱着工法の導入等を行っている。本講演では、1. 複合工法、2. 原位置熱脱着技術の2つの工法について紹介する。両工法は原位置浄化の欠点を補う工法であり、これらの技術を既存の技術と組み合わせていくことにより、原位置浄化の適用性を広げるとともに、さらなる品質の向上につなげていく。

## 2. 複合工法について

化学酸化やバイオレメディエーションでは、それぞれに特徴があり、短所長所がある。化学酸化の一つであるフェントン反応は、ヒドロキシラジカルに起因する酸化力を有する反応であり、反応時間は比較的短く、短工期で浄化が可能である反面、浄化を成功させるには汚染物質とフェントン反応剤との速やかで確実な接触が必要不可欠である。しかしながら、例えば沖積平野に広く存在している粘土やシルト等の粘性土は、その特徴である透水性の悪さや崩れにくさがフェントン反応剤と汚染物質との速やかな接触を妨げ、汚染が残留することがある。一方で、バイオレメディエーションは一般的にフェントン反応と比較し、反応が遅く、工期が長くなってしまいうデメリットを持つ反面、浄化効果を長期間持続させることが可能で、粘性土等に対しても時間をかけて薬剤を浸透させ浄化効果を発揮させることが可能であり、フェントン反応とは相反する特徴を持つ。この両者を組み合わせれば、お互いの短所が補われ、概念的には効果的な施工が可能であるが、フェントン反応は酸化反応であるため、反応過程で発生する強い酸化力と酸素により、嫌氣的な微生物に対してダメージを与えることが考えられ、通常、同時に施工することは避けられてきた。しかしながら、施工方法や薬剤組成を工夫することで、通常は避けられるフェントン反応後の嫌気バイオレメディエーションを可能にした。

複合工法の施工の流れを図2に示す。複合工法はフェントン反応剤の攪拌混合を行った後、フェントン反応が概ね終焉を迎える8h~24h後に同地点に対して、バイオレメディエーション促進剤の攪拌混合を行うため、連続施工が可能である。実際のサイトにおける濃度低減を図2に示す。PCEが基準の500倍以上で比較的高濃度であっても従来と比較し、短期間で基準適合させることが可能であり、効果が長続きするため、リバウンドの可能性も少ない。従来の原位置浄化の弱点をカバーする工法である。



8h~24h後

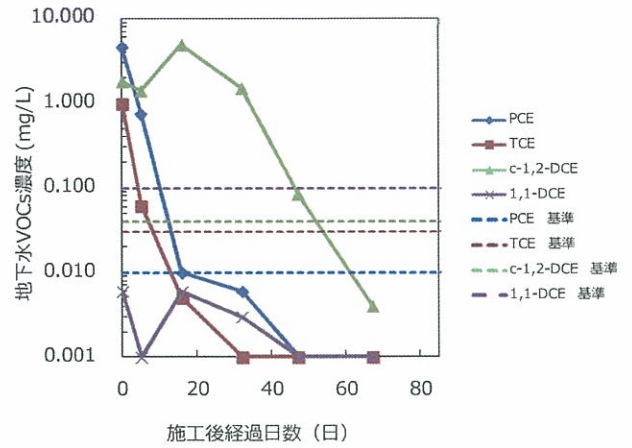


図2 複合法概要

### 3. 原位置熱脱着について

原位置熱脱着とは、土壌・地下水の温度を上げることで VOCs をガス化させ、ガス化した VOCs をガス吸引等で回収する工法である。図3にイメージを示す。浄化原理は一般的な物質の状態変化の法則によって説明できる。主に各 VOCs の蒸気圧とヘンリーの法則がカギとなる。

物質は温度を上げれば上げるほど蒸気圧が高くなる。図4に各物質の蒸気圧と温度の関係を示す。従って、温度を上げるほど、液体の状態から気体の状態へと変化していく。

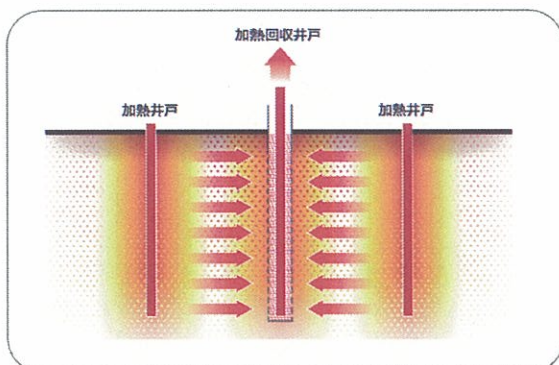


図3 原位置熱脱着工法イメージ



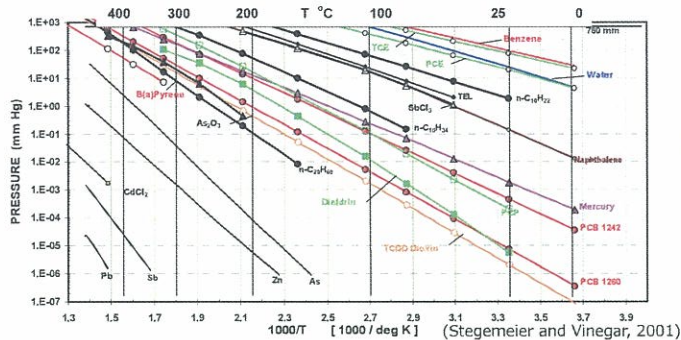
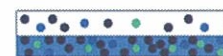
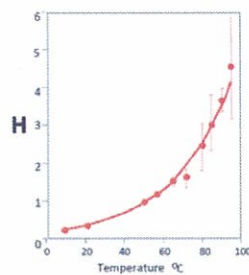


図4 各物質の蒸気圧と温度の関係



$$H = \frac{C_{air}}{C_{water}}$$

温度が高くなると水に溶ける量は少なくなり、気相に移行する

図5 ヘンリー定数の概要と温度の関係

すなわち、土壌中の VOCs も温度を上げるほど気体に気体になりやすくなることを意味する。これは、水が温度が高い方が蒸発しやすくなるのと同様である。また、水へ溶解する気体について成り立つのがヘンリーの法則である。図5にヘンリー定数について示す。ある気体が気相と液相で平衡状態となっている時、その蒸気圧と液相のモル分率の比を示すのがヘンリー定数である。ヘンリー定数は物質毎に異なるが、温度を上げれば上げるほど大きくなるのはどの物質も変わらない。つまり、温度が高いほど水に溶解する気体の量は減る。すなわち、地下水中に溶解している VOCs も地下水の温度を上げれば上げるほどガス化しやすくなることを意味する。上記2つの原理を利用したのが原位置熱脱着である。本工法は汚染物質の原液が存在するような超高濃度であっても、また20mを超す大深度であっても浄化が可能である。ヒーター等に電気代等にかかるものの、深度が大きいほど掘削除去よりもコストメリットが出るため、これまで浄化コストが土地の価格に合わず、手がつけられなかったため、利用できない状態にあるようないわゆるブラウンフィールドについても対応ができるようになると考えている。本技術は米国から導入を行っている技術で、今年度中には国内1号案件に着手予定である。



小松 大祐 (こまつ だいすけ)  
株式会社アイ・エス・ソリューション  
技術士 (生物工学部門)  
技術管理者 (土壌汚染対策法)

#### 【略歴】

- 2010年 3月 東京農工大学大学院 物質循環環境科学専攻終了  
2010年 4月 株式会社アイ・エス・ソリューション 現在に至る

#### 【著書等】

- ・ 原位置化学酸化 (フェントン反応) とバイオレメディエーションの複合工法とその施工事例その2 (ホットスポットにおける施工法)
- ・ 原位置化学酸化 (フェントン反応) とバイオレメディエーションの複合工法とその施工事例
- ・ 油分を対象としたバイオレメディエーションにおける施工管理としての油分分解菌の計数