

# (0072) バイオパイルにおけるモニタリング手法の検討

○高柳宏<sup>1</sup>・金城和哉<sup>1</sup>・門倉伸行<sup>2</sup>・佐々木静郎<sup>2</sup>・村田 均<sup>3</sup>・川口博史<sup>3</sup>

<sup>1</sup>南洋土建・<sup>2</sup>熊谷組・<sup>3</sup>テクノス

## 1. はじめに

沖縄県では基地返還に伴う燃料系や潤滑油系に起因する油汚染の浄化対策が数件実施されている。その中で外部搬出処分を除き、そのほとんどが生石灰混合による化学脱着を採用している。

筆者らはこれまで石油分解菌による油汚染土壌のバイオレメディエーションの実用化に向けた各種検討を行ってきた<sup>1),2),3)</sup>。バイオレメディエーションは生石灰による化学脱着と比較すると浄化期間が長く、またその予測が困難な工法と言われている。今回筆者らは、過去に検討したバイオレメディエーションにおけるバイオパイルのモニタリング結果を再度検証することにより、浄化品質の要となる微生物活性の把握及び、活性状態の適正な維持管理を行う事で浄化期間の短縮や期間の予測が可能となるかを検討した。

## 2. モニタリング項目とその所用日数

土壌中の微生物活性に関わる主なモニタリング項目を表-1に示す。なお、所用日数の考え方は試料採取から管理者へモニタリング結果が到着する日数を示す。すなわちモニタリングには即日結果を得られる項目と、分析室等へ試料を持ち帰り数日で結果を得られる項目がある。

表-1 主なモニタリング項目

モニタリング項目	平均的な所用日数
外気温	即日
パイル内温度	即日
酸素濃度	即日
土壌含水比(率)	3~5日間
土壌のpH	3~5日間
総菌数	7~10日間
C/N比	7~10日間
全リン、全カリウム	7~10日間

## 3. モニタリングの目的とその意義

表-1の項目は微生物の活性に関して重要な情報を得る事ができる項目であり、その情報を総合的に判断して浄化の維持管理を行う事が理想である。一方、実際のバイオレメディエーションのサイトでは時間的な制約を受けながら微生物の活性を監視し、維持管理を行う事から簡易的に短時間で分かりやすいモニタリング項目が求められる。つまり、毎日油汚染土壌に向き合うサイトの管理者からすると即日に結果が出て、誰でも客観的に評価できる外気温、パイル内温度、酸素濃度がサイトに適した項目と考えられる。従ってこの3項目が筆者らの過去のモニタリング結果にてどのような推移を示していたのか確認し検証した。

## 4. 実験概要

過去に筆者らが検討したバイオレメディエーションにおけるバイオパイルの実験概要を表-2に示す。

表-2 実験概要

模擬汚染土壌種別	パイル名	石油分解菌	栄養塩	有機資材(牛糞堆肥)	備考
島尻マージ +ベースオイル +ジェット燃料	パイル A	×	×	×	コントロール
	パイル B	×	○	○	ステイミュレーション
	パイル C	○	○	○	オーグメンテーション

A study of monitoring method in bio-pile

Hiroshi Takayanagi<sup>1</sup>, Kazuya Kinjou<sup>1</sup>, Nobuyuki Kadokura<sup>2</sup>, Shizuo Sasaki<sup>2</sup>, Hitoshi Murata<sup>3</sup>, Hirofumi Kawaguchi<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>NanyoDoken, <sup>2</sup>Kumagai Gumi, <sup>3</sup>Technos)

連絡先：〒902-0076 沖縄県那覇市与儀 1-5-2 南洋土建(株) TEL098-853-0661 FAX098-834-7575

E-mail [takayanagi@nanyo-doken.com](mailto:takayanagi@nanyo-doken.com)

本実験では、表-2にあるように模擬汚染土壌にて3条件のパイルを作成し浄化を進めた。設置状況を写真-1に、設置平面図を図-1に示す。



写真-1 バイオパイル写真  
(写真上から A, B, C)

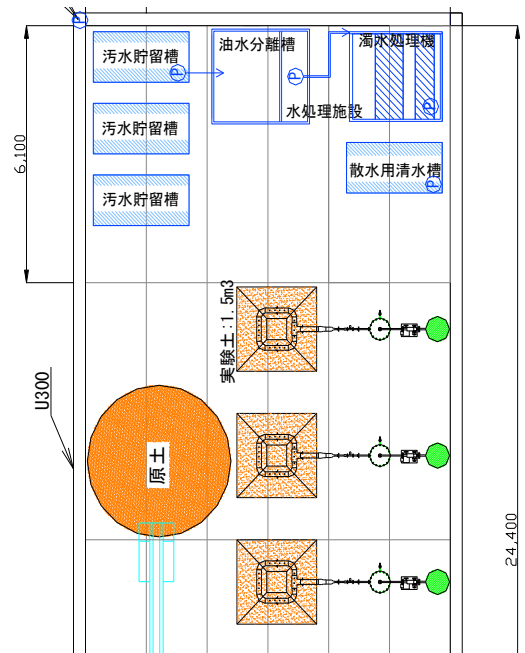


図-1 設置平面図

パイルAは比較のためのコントロールとして、パイルBは栄養塩と有機資材を添加したスティミュレーション、パイルCは石油分解菌を添加したオーグメンテーションである。石油分解菌については立命館大学が保有する *Rhodococcus erythropolis* NDKK6 株を用いた。なお、本菌は国のバイオレメディエーション利用指針に適合している。実験場所は浦添市にある南洋土建㈱の資材置場で実施した。模擬汚染土壌は混練り装置にてそれぞれ必要な資材を投入し一定時間混練りした。混練りした土壌はパイル状に成型し成型したパイルには養生用のシートと空気供給用の吸気設備を設置した。モニタリングは酸素濃度、各所の温度及び水分を計測できるセンサーを導入し、浄化期間中の連続測定を実施した。

## 5. 実験結果

実験結果を表-3に示す。

表-3 実験結果

PILE名称 (添加条件)	油臭結果 0週目⇒17週目	油膜結果 0週目⇒17週目	油分濃度(TPH) 0週目⇒17週目
PILE-A (無添加)	4 ⇒ 0	有 ⇒ 無	2,600mg/kg ⇒ 2,100mg/kg
PILE-B (栄養塩+有機資材添加)	4 ⇒ 0	有 ⇒ 無	4,100mg/kg ⇒ 2,600mg/kg
PILE-C (栄養塩+有機資材+石油分解菌添加)	4 ⇒ 0	有 ⇒ 無	2,900mg/kg ⇒ 1,600mg/kg

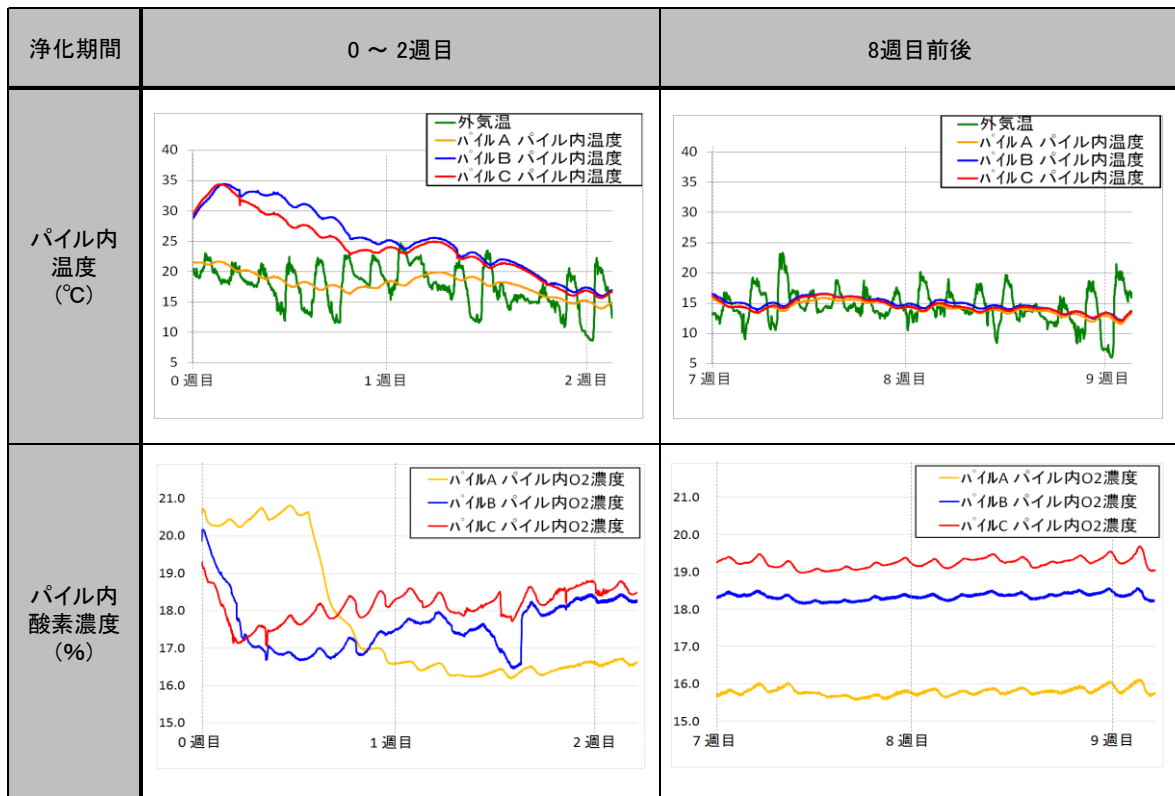
油臭・油膜に関しては17週目で浄化が完了した。油分濃度 (TPH) については浄化開始当初は順調な濃度低減を示したが4週目ぐらいから値に変動が見られなくなり一部濃度の逆転現象も見られた。

## 6. モニタリング結果と油分濃度 (TPH) の関係性について

油汚染土壌の浄化に利用する微生物は主に好気性の微生物であり、好気性コンポスト化のプロセスを見本とする事が一般的である。微生物が活性化するとコンポストの温度は上昇し、酸素濃度は低下する。このプロセスが出現するタイミングを今回検証のモニタリングで把握し、その際の油分濃度 (TPH) について確認した。

表-4にパイル内温度及び酸素濃度グラフを、表-5にモニタリング結果と油分濃度 (TPH) を示す。

表-4 パイル内温度及び酸素濃度グラフ



上記のパイル内温度及び酸素濃度グラフのデータとしては、0～17週までの連続測定データが存在するが、2週目以降のデータには大きな変化が見られなかった。そこで浄化開始～2週目までと、浄化期間の中間点である8週目前後のデータをグラフ化し、他のデータについては割愛した。

0～2週目のバイオレメディエーション中であったパイルB及びCに着目すると、パイルAと異なる挙動を示している事が確認できる。特にパイル内の温度については浄化開始より明らかに上昇し、その後10日間ほど外気温より高い温度を保持していた。一方、8週目前後のパイル内温度データについてはパイルA、B及びCに有意な差は確認できなかった。

表-5 モニタリング結果と油分濃度 (TPH)

浄化期間		0 ~ 2週目	8週目前後
外気温	平均値	17.7	14.5
	(最大値)	(24.7)	(23.4)
パイル内温度 (°C)	パイルA: 平均値	18.1	14.1
	(最大値)	(21.7)	(15.9)
	パイルB: 平均値	25.4	14.7
	(最大値)	(34.5)	(16.6)
	パイルC: 平均値	24.1	14.5
	(最大値)	(34.4)	(16.6)
パイル内酸素濃度 (%)	パイルA: 平均値	17.7	15.8
	(最小値)	(16.2)	(15.6)
	パイルB: 平均値	17.6	18.3
	(最小値)	(16.5)	(18.1)
	パイルC: 平均値	18.1	19.2
	(最小値)	(16.7)	(19.0)
TPH 濃度 (mg/kg)	パイルA	2,600 ⇒ 1,700	1,700 ⇒ 3,100
	パイルB	4,100 ⇒ 2,400	2,400 ⇒ 2,700
	パイルC	2,900 ⇒ 1,200	1,200 ⇒ 1,600

なおデータの平均値等からも、0～2週目の外気温とパイルB及びCには温度差があることが確認できた。一方、8週目前後にはその差が認められなかった。

また酸素濃度について0～2週目のパイルB及びCは、8週目前後の濃度と比較して低い傾向である事が確認できた。

これらの結果は好気性コンポスト化のプロセスと同様に微生物が活性化した痕跡であると思われる、その際の石油分解菌及び分解寄与菌については  $1.1 \times 10^9$  個存在し浄化期間中の最多を記録した。また油分濃度（TPH）に関しても、最も濃度が減少した期間であった。

## 7. まとめ

バイオレメディエーション中のバイオフィルについて、浄化品質の要となる微生物の活性化は外気温、パイクル内温度及び酸素濃度のモニタリングでおおよそ把握できることが確認できた。

従って、これらの即日に判明する結果を用いて日々の活性状態に対する維持管理を行い、並行して浄化次工程への判断材料を石油分解菌、分解寄与菌及び C/N 比等にてモニタリングする事で浄化期間の短縮や期間の予測が可能になると考えられる。

## 8. 謝辞

本発表は沖縄県の公募事業「微生物を活用した汚染土壌の浄化処理技術開発事業」の一環で実施したデータを活用した。ここに沖縄県担当者ならびに関係の評価委員の先生方へ感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 村上順也, 金城和哉, 門倉伸行, 土路生修三, 松宮芳樹, 久保幹(2013) : 沖縄県内土壌を用いた模擬汚染土壌の石油系炭化水素の生物分解特性、第 19 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 講演集, 477-482
- 2) 村上順也, 門倉伸行, 佐々木静郎, 土路生修三, 金城和哉, 仲村紳, 久保幹, 松宮芳樹(2013) : 沖縄県内土壌を用いた模擬油汚染土壌のバイオ浄化処理実験, 土木学会第 68 回年次学術講演会(VII部門), 157-158
- 3) 村上順也, 金城和哉, 門倉伸行, 佐々木静郎, 土路生修三, 久保幹(2014) : 沖縄県内土壌を用いた模擬汚染土壌のバイオ処理効果と処理土壌の植物への影響, 第 20 回地下水、・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 講演, 417-421