

最終処分場における浸出水処理設備へのバイオアッセイ適用研究

Study of bioassay application in leachate treatment system at a solid waste landfill site



豊久志朗*
Shiro Toyohisa



森岡あゆみ*
Ayumi Morioka



宮後靖浩*
Yasuhiro Miyago



藤原尚美**
Dr. Naomi Fujiwara
工学博士



藤崎泰士*
Yasushi Fujisaki



樋口壯太郎***
Dr. Sotaro Higuchi
工学博士

循環型社会形成のための最後の砦である最終処分場では、埋立地の早期安定化が重要な課題である。今回、安定化の指標のひとつである浸出水に関して、埋立完了箇所および埋立中箇所から流出する各浸出水に対して、従来の化学分析に加えて（株）神鋼環境ソリューションで開発した迅速バイオアッセイ（BIOecsSM）の有効性を検証した。その結果、埋立完了箇所からの浸出水原水は化学分析の処理水基準値を満足し、バイオアッセイでも低い毒性を示した。埋立中箇所からの浸出水は、化学分析とバイオアッセイ共に水質改善に向けた施策が必要な結果であった。さらに、実用化に向けた迅速バイオアッセイ（BIOecsSM）は、現場においても研究所と同等の結果を得ることができた。このことから、最終処分場の新たな維持管理として、当該バイオアッセイを併用することの有効性が示唆された。

The early stabilization of solid waste landfill sites, which are the last bastion for the formation of a recycling-based society, is an important issue. In this study, we evaluated the effectiveness of a swift bioassay (BIOecsSM) developed by Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd., in addition to conventional chemical analysis of leachate from completed and in-process landfill sites. We found that the raw leachate from the completed landfill site satisfied the standard value of treated water by chemical analysis and showed low toxicity in the bioassay. However, both chemical analysis and the bioassay showed that measures to improve the water quality of the leachate from the in-process landfill site are necessary. Furthermore, the swift bioassay (BIOecsSM) for practical use showed similar results in the field as in the laboratory. This suggests the effectiveness of the swift bioassay (BIOecsSM) in combination with a new maintenance method for solid waste landfill sites.

Key Words :

産業廃棄物管理型最終処分場
浸出水
バイオアッセイ
急性毒性試験

Landfill sites for controlled industrial waste
Leachate
Bioassay
Acute toxicity test

【セールスポイント】

- ・最終処分場から流出する浸出水に関して、従来の化学分析に加えて水生生物を用いたバイオアッセイを活用することで、その安全性を総合的に評価する先進的な取り組みを行なっている。
- ・今回紹介する迅速バイオアッセイ（BIOecsSM）は、現場においても精度の高い結果を得ることができ、実用的である。

*株イー・アール・シー高城

**技術開発センター 技術開発部 資源循環技術室

***福岡大学

まえがき

(株)イー・アール・シー高城（以下、当社と称す）は、(株)神鋼環境ソリューション（以下、SKSと称す）のグループ企業であり、産業廃棄物管理型最終処分場を運営している。最終処分場では、廃棄物が計画埋立容量に達し、受入を終了する「閉鎖」から、埋立廃棄物の影響がなくなり維持管理が不要となる「廃止」までの期間は一般的に10年以上の長期間を要し、埋立地の早期安定化が大きな課題となっている¹⁾。このため、当社では、埋立地の安定化を図るために重要な、自然の浄化機能とその分解メカニズムを利用することを基本としたバイオリクター型の準好気性埋立機能²⁾を発揮させるための施策を講じている。例えば、埋立地から流出する浸出水原水や埋立ガスのモニタリングを継続し、受入廃棄物の選定や埋立方法を工夫することで、埋立地の好気状態の維持に取り組んでいる。今回、埋立地の安定化の状況を把握する重要な指標である浸出水原水の水質に関して、最終処分場に係る技術上の基準を定める省令に規定されている化学分析に加えて、現場で実施可能な迅速バイオアッセイ（BIOecsSM）によるモニタリングを1年間継続し、当バイオアッセイの実用性を考察したので以下に報告する。

1. バイオアッセイとは

バイオアッセイとは、生物作用性物質について、化学薬品のかわりに生物材料を用いて、化学反応の代わりに生物応答を利用し、物質量の代わりにその生物作用量を分析値として評価する方法である³⁾。本研究で採用したバイオアッセイは、急性毒性試験を参考にSKSが開発した迅速バイオアッセイ⁴⁾（BIOecsSM）である。生物は魚類としてアカヒレ、甲殻類としてオオミジンコを用い、曝露時間は24時間で生死判定による評価であり、現場においても実施可能な方法である（図1）。

SKSによるこれまでの浸出水処理に関するバイ



図1 現場でのバイオアッセイ試験の状況

オアッセイの研究においては、浸出水そのものを総合的に評価できる特長を生かして、浸出水処理設備での過剰な処理工程を省略できることや低薬注率の指標による省エネルギー・低コスト化に寄与できる事例⁵⁾などの成果を得ている。これらの研究は、最終処分場の廃止に関して、浸出水処理設備の段階的廃止にも寄与できる（図2）。化学分析による技術上の基準を満足した上で、バイオアッセイによる安全性を確認することで、各処理工程水を適切に判断することができる。

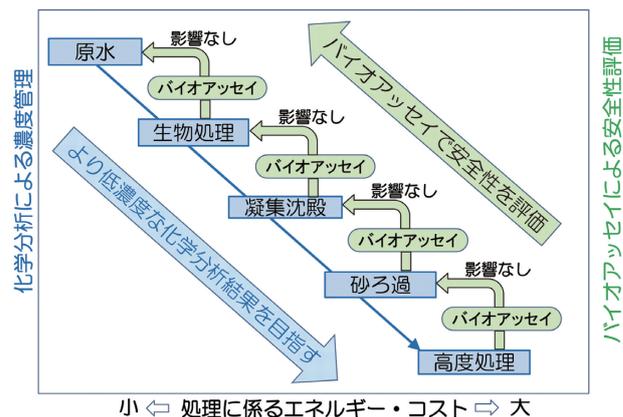


図2 バイオアッセイによる浸出水処理設備の段階的廃止

2. 研究対象処分場

研究対象とした管理型最終処分場は、宮崎県都市に位置し、計画埋め立て容量は93万^m3で、2021年3月末にはその約7割の埋め立てが進捗している（図3）。埋立対象廃棄物は、廃プラスチック類、ガラス・コンクリート・陶磁器くず、無機性汚泥、土壌、燃え殻など15種類である（図4）。埋立地は準好気性埋立構造を採用し、準好気性埋立機能が発揮できるように、多降水地域のため埋立表層への移動式シートキャッピングの施工やガス抜管への空気供給などに取り組み、ガス抜管のガス濃度測定や埋立地への外気取込量のモニタリングを継続している⁶⁾。



図3 研究対象処分場の全景

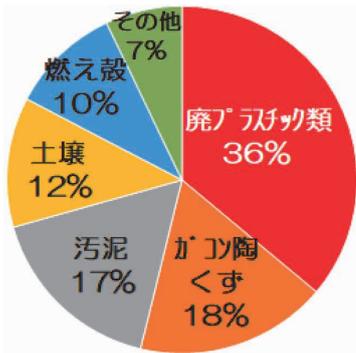


図4 受入廃棄物の種類

3. 研究方法

3.1 水質分析

当該最終処分場の埋立地は、前半（以降、1-1期と称す）と後半（以降、1-2期と称す）に分けて埋め立てており、1-1期は計画埋立容量に達し、現在1-2期を埋め立て中である（図5）。浸出水は、概ね1-1期と1-2期埋立地からそれぞれ1-1期浸出水原水、1-2期浸出水原水として流出している。埋立地の安定化の評価のため、これら1-1期および1-2期浸出水原水を対象に、化学分析とバイオアッセイを実施し比較した。

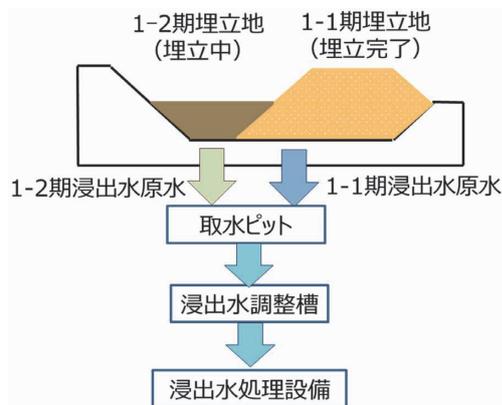


図5 研究対象処分場の模式図

3.2 化学分析

化学分析は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以降、廃掃法と称す）の放流水基準項目を参考に、1-1期浸出水原水と1-2期浸出水原水に対して毎月、BOD、COD、SS、T-Nについて実施した。

3.3 バイオアッセイ

1-1期浸出水原水と1-2期浸出水原水に対して、現場とSKS研究所でそれぞれBIOecsSMによる試験を実施した。生物はアカヒレとオオミジンコを用い、曝露時間は24時間で、生物の生死の判定からダートロフ法⁷⁾（浸出水の濃度を対数目盛に、死亡率を普通目盛にとってプロットし、死亡率50%に

最も近い上下2つの測定値を結ぶ直線を引き、死亡率50%の線との交点に相当する濃度をLC₅₀（半数致死濃度）とする）によりLC₅₀を算出した。

また、データ表示は、化学分析と比較するため、毒性の強さが数値に比例する指標である毒性単位(TU)⁸⁾を(1)式から算出した。

$$TU(\text{Toxic Unit}) = 100 / LC_{50} \quad \dots(1)$$

4. 結果および考察

4.1 化学分析とバイオアッセイ

2020年度の1-1期浸出水原水に対する化学分析とアカヒレおよびオオミジンコによるBIOecsSMの結果を図6および図7に示す（4月の現場TUデータは欠損）。1-1期浸出水は、2017年3月に埋立を完了した箇所から流出している浸出水である。このため年間を通じて受入廃棄物の安定化が進行し、化学分析値は廃掃法の放流水基準値（BOD：60 mg/L以下、COD：90 mg/L以下、SS：60 mg/L以下、T-N：最大120 mg/L以下）を満足した。BIOecsSMでは、TUは年間を通じて2.5以下であった。このため、浸出水原水のTU値2.5以下は、埋立地の安定化を把握するための良い指標になると考えられる。

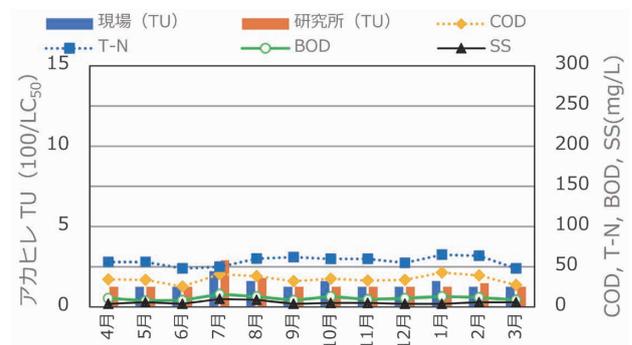


図6 1-1期浸出水原水（アカヒレ）

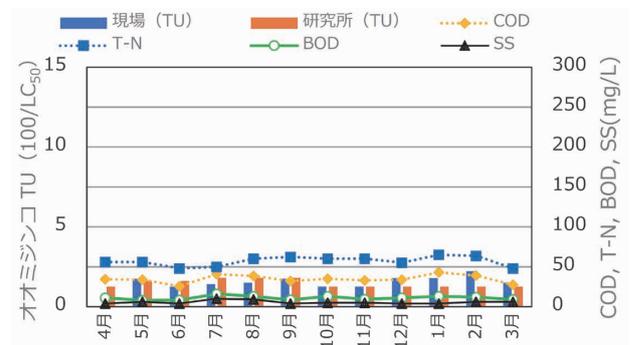


図7 1-1期浸出水原水（オオミジンコ）

一方、埋立中の1-2期浸出水原水に対する化学分析とBIOecsSMの結果を図8、図9に示す。1-2期埋立地から流出する1-2期浸出水原水では、

BODとSSは廃掃法の放流水基準値を満足したが、CODとT-Nは放流水基準値以上の値であり、受入廃棄物の影響を受けており、安定化に向けた埋立施工の工夫を継続することが望ましい。また、降水量の多い7月が最も高い値となり、これは降水による廃棄物の洗出しの影響と考えられる。BIOecsSMでは、TU値は2.5を超過し、CODとT-Nと同様の傾向を示した。このため浸出水原水を24時間で評価できるBIOecsSMは、現場での早期アラームシステムとして活用できると考えられる。

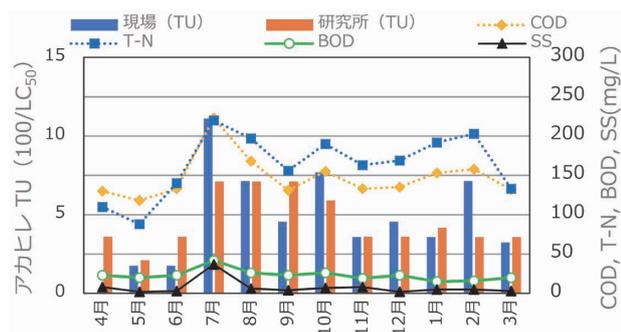


図8 1-2期浸出水原水（アカヒレ）

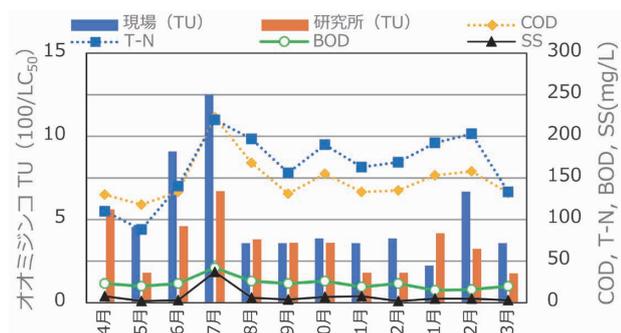


図9 1-2期浸出水原水（オオミジンコ）

4.2 研究所と現場でのバイオアッセイデータ比較

アカヒレのBIOecsSMにおいて、設備の整った研究所（神戸）と現場で実施した結果を比較した（図10）。研究所でのBIOecsSMの試験条件は、水温25 ± 1℃、照明13時間明期/11時間暗期とした。生物の飼育時の給餌は、1～2回/日、適量を与えた。一方、現場では会議室で試験を実施し、夏季の水温が上昇した際はエアコンを作動、冬季は飼育水槽にヒーターを設置し水温を管理した。給餌は休日を除いて1回/日適量を与えた。このように試験・飼育条件が異なっても、研究所と現場でのTU値に大きな差はなく、決定係数は0.73と強い相関を示した。オオミジンコについても図11に示すとおり決定係数は0.69で強い相関を示した。このことから、これらの生物は扱いやすく、日々水質の変動する浸

出水原水に対して現場で実施できるBIOecsSMは有効な手法であることがわかった。

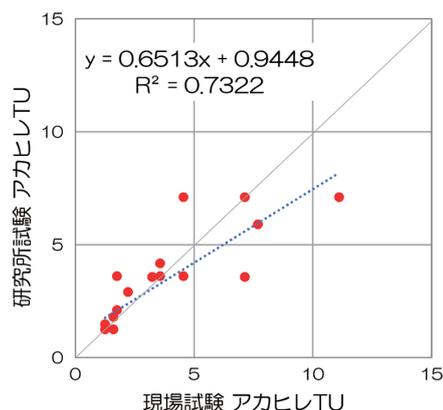


図10 現場と研究所の比較（アカヒレ）

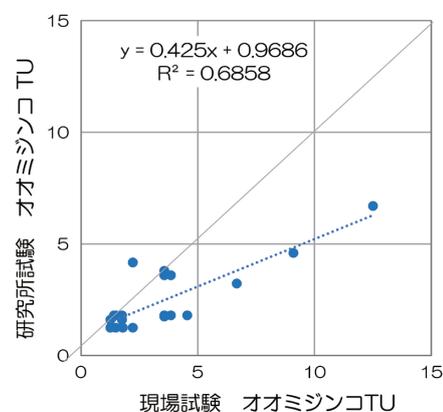


図11 現場と研究所の比較（オオミジンコ）

5. まとめと今後の課題

本研究では、浸出水原水の化学分析とバイオアッセイの適用により下記の知見を得た。

- (1) 廃棄物の受入を終了した1-1期埋立地からの浸出水原水は化学分析、BIOecsSMともに安定した結果であった。
- (2) 埋立地の安定化が進捗した場合のBIOecsSMによるTU値は2.5以下であることが示唆された。
- (3) BIOecsSMは研究所と現場の結果に大差がなく、浸出水が発生する現地でのモニタリングが可能であり、埋立管理ならびに浸出水管理に、観賞魚飼育と同じ条件で簡便かつ有効に活用できることが判った。

今回の試験では、同時採水に対して、現場試験では採水当日に試験を実施し、研究所試験では採水を研究所に冷蔵輸送し1～2週間後に試験を実施した。採水から試験着手までの日数の違いに関して、経時変化の影響が懸念されるが、本件の検討を含め、今後は、BIOecsSMのデータ蓄積により、最終処分

場の立地，運営，廃止にいたるプロセス上，最も重要な「生活環境保全上支障のないこと」に対する日々の維持管理モニタリング指標の一つとなるよう研究を進めたい。

む す び

最終処分場の維持管理で重要な浸出水管理に対して，迅速バイオアッセイ BIOecs は，化学分析と同様の挙動であり，かつ，現場でも精度の高い結果が得られることがわかった。

[参考文献]

- 1) Sotaro Higuchi: Municipal Solid Waste Landfill Technology in Japan, Springer (2018) pp118-129
- 2) Sotaro Higuchi: Municipal Solid Waste Landfill Technology in Japan, Springer (2018) pp97-105
- 3) 楠井隆史：総説環境管理におけるバイオアッセイの役割，安全工学，Vol.39 No4 (2000)，pp247

- 4) 藤原ら：アカヒレとオオミジンコを用いた最終処分場浸出水管理，廃棄物資源循環学会論文誌，Vol.31 (2020)
- 5) 藤原ら：生物応答による水処理設備の省エネルギー，低コスト化，第28回廃棄物資源循環学会研究発表会 (2017)
- 6) S.Toyohisa et al.: FUNCTION TEST AND EVALUATION CASES OF THE SEMI-AEROBIC LANDFIL, APLAS TOKYO 2018 The 10th Asia-Pacific Landfill Symposium (2018) , pp307-311
- 7) P. Doudoroff, Chairman, B. G. Anderson, G. E. Burdick, P. S. Galtsoff, W. B. Hart, P. Patrick, E. R. Strong, E. W. Surber, and W. M. Van Horn : Bio-assay Method for the Evaluation of Acute Toxicity of Industrial Wastes to Fish. Sewage and Industrial Wastes, Vol. 23, No. 11, pp. 1380-1397 (1951)
- 8) Ghosha et al.: Bioassays for Toxicological Risk Assessment of Landfill Leachate: A Review, cototoxicology and Environmental Safety, Vol.141, pp.259-270 (2017)