

持続可能な処分場－「高規格処分場 Integrated Waste Landfill Site」の提案

国立環境研究所 井上雄三

1. はじめに

持続可能な社会（循環型社会）を構築するという課題は、21世紀の人類に課せられた最も重要な課題である。わが国も大量生産・消費・廃棄の社会システムから廃棄物の発生抑制、再使用、再資源化を基軸とした循環型社会形成に向けて大きく踏み出しており、官・産・民一体となってそのための技術やシステム開発が行われている。この3Rの基軸には、末端 end-of-pipe からではなく、上流側 front-end からの取り組みの重要性が指摘されて、最終処分量が2010年には1996年の1/2に、そして2050年には1/10にするという長期ビジョンが出されている。一般廃棄物は13百万トンから6.4百万トンに、産業廃棄物は60百万トンから31百万トンに、そして最終的にはそれぞれ1.3百万トン、6百万トンが1年間に最終処分される。嵩密度を1とすると毎年併せて東京ドーム（1.24百万m³）の約6杯分の処分容量が必要になる。最終処分場が社会基盤施設として重要な理由がここにある。加えて地震等災害廃棄物の緊急受入施設として必要不可欠の施設である。ところが今日、地域住民の反対により最終処分場の新たな確保が将来的に大きな不安要素となっている。その理由の主なものは、遮水システムの担保期間と埋立廃棄物中に含まれる有害物質の安定化期間のギャップであると考えられる。その結果、地域住民の子孫に対する健康不安を払拭することができなくなり、負の遺産の烙印を押され、今日のような持続可能性に対する不安が発生したものと思われる。

このような事態を解消するためには、社会に受入られる埋立処分場の形態を提案することが急務である。従来型の end-of-pipe 方式では既に限界に来ていることは明らかである。それは、循環型社会に相応しい新しい制御概念－埋立られる廃棄物の品質を洗浄や選別等の前処理により改善するといった上流側制御方式 front-end control approach を導入することによって可能である。そこで本プロジェクトでは、この入口制御システムに加えて、覆土材料の見直しや埋立廃棄物の品質改善による埋立層内の物理・化学・生物学的環境の改善や層内均一性の増加によって安定化をより促進させ、かつ信頼性を高めるための埋立施設構造の高度化を導入したダブル制御システムを取り入れ、その効果をカラム充填実験と埋立層の反応モデルを構築・解析することにより埋立廃棄物の長期安定化現象を予測し、比較評価する。入口制御システムとは、早期安定化のための埋立廃棄物の品質を規定、或いは選定することで、いわば新たな埋立廃棄物の基準を定める情報を提供するものである。また、社会が受入可能な最終処分場の新しい形態を提案する場合、評価指標として埋立廃棄物や浸出水の安定化状況、安定化に必要な時間（維持管理時間）、埋立廃棄物の品質選定（前処理）等及び維持管理等の総コストを総合的に評価して提案を行うものである。本研究では最終目標である総合的表評価を具体化するまでには達しなかったが、多くの重要な成果を得ることができた。本討論会でその概要を報告し、循環型社会に相応しいわが国の廃棄物管理や埋立処分のあり方を探るものである。

2. 持続可能な処分場とは

埋立処分に関して住民の不信感と不安からその持続性に大きな課題が生まれ、持続可能な埋立処分場の概念が世界的に議論されている。田中¹⁾は持続的な廃棄物処分戦略研究会の中で埋立処分における持続可能性を「次の世代に負の遺産を残さない」ことと定義し、具体的には 1)埋立地を汚染地にしない、2)跡地

の適正利用による埋立地の非空間消費化が埋立地の継続的建設をかのとする、3)資源・エネルギーの保全に寄与する（省資源型の、長時間使用型の、生態系機能を利用した）安全で安心な埋立処分を行う）、4)埋立地を人々の生活に不可欠な基盤施設（都市計画法で定める「都市施設」として位置づけられる）と位置づける、の4項目を挙げている。また、1世代を30年以内としている。

持続可能な埋立 Sustainable landfill に関しては、EUを中心にUN Bruntland 委員会による持続可能性(1987)²⁾に対応して活発な議論が行われている。その主なものを見ると、Stegmann(2003)³⁾はエミッションポテンシャルが環境に影響を及ぼさないレベルになれば維持管理を終えることができるとし、イギリスでは持続可能な埋立を2つの要素；エンドポイント（final storage quality; FSQ）とその期間で定義される必要があるとし、各世代で埋立廃棄物をFSQの状態になるよう管理すべきだとしている⁴⁾。また、Completion（維持管理の完了：わが国の廃止に類似）を埋立地が乱されない限り周辺環境に悪影響を及ぼさないレベルに物理・化学・生物学的に安定化したと定義し、維持管理（浸出水とガス）を終了可能としている⁵⁾。同様にHjelmar(2005)ら⁶⁾もFSQに達した廃棄物はもはや維持管理は必要ないとし、浸出水は周辺環境に放流可能になると述べている。さらにはSharf(2007)ら⁷⁾は持続可能埋立処分の実現性について言及し、全てのタイプの埋立廃棄物は分解、固定化やセメント化、洗い出しが起こり、無機物埋立への道を辿るとし、そのゴールはcompletion 維持管理の完了であり、有機物の分解が最も重要なプロセスであるとした。その上で、inert 廃棄物埋立地のEU基準を遵守する埋立が可能と述べている。また、Scharfら⁸⁾は無機物の埋立処分とFSQについて言及し、持続可能埋立処分とFSQの関係をKnox⁴⁾と同様に、維持管理の終了または完了のエンドポイントをFSQとし、埋立地が攪乱されない限り周辺環境に影響を及ぼさない状態にまで達する期間が1世代内となる埋立処分が可能だと結論付け、これを持続可能埋立地と定義した。

3. 高規格埋立処分システムの提案

私は先に高規格埋立処分を持続可能型埋立処分 Sustainable landfill と同義だと述べた⁹⁾。すなわち、1世代内に維持管理を完了（廃止）可能な埋立処分である。本稿では4年間の研究で得られた成果の概要を述べ、高規格埋立処分システムを提案し、皆様からの議論をいただき、わが国の埋立処分のあり方を明確にしたい。

図1に高規格最終処分システムの概要を示す。高規格処分システムでは安定化の促進、すなわち維持管理期間を1世代以内とするために二つの方法、初期埋立廃棄物の質を制御するインプット制御と埋立層内に浸透する大気の進入や雨水の透水性を高めるとにより生じる反応速度の増加（促進効果）を検討した。また、総合的な評価をおこなうために地域社会が埋立処分場を受け入れるため

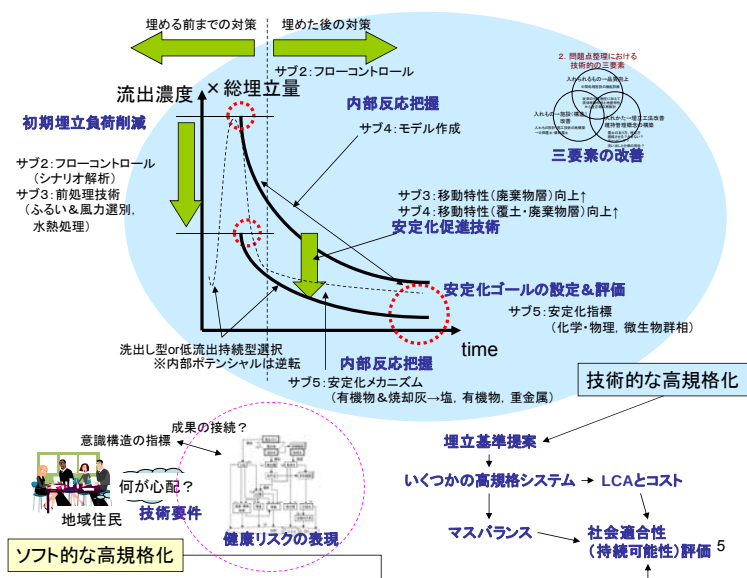


図1 高規格埋立処分システムの概要

の条件や住民の意識構造を調査するとともにコストや LCA による評価も検討した。詳細な議論は各課題発表者の発表に譲るとして、本稿では高規格化のための基本的なシナリオを述べることにする。

廃棄物は中間処理施設での資源化や減容化により最終処分量は一般廃棄物で約 1/5 に、産業廃棄物では約 1/10 にまで削減される。これらの埋立廃棄物の中で特に産業廃棄物に関して中間処理施設（破碎選別施設）での資源化および残さ（埋立物）のマスバランスをとり、分配特性と残さ品質のプロセス別（施設別）の特性を明らかにすることによって埋立物の品質を定性的に予測することが可能となった¹⁰⁾。一方、建設混合廃棄物の破碎選別施設の資源化残さの風力選別により重金属を分離することが可能なことも明らかになり、埋立廃棄物の品質向上への技術的展望を明らかにした¹¹⁾。結論的には破碎選別等の中間処理施設により埋立される資源化残さの品質を制御できる可能性が示されている。

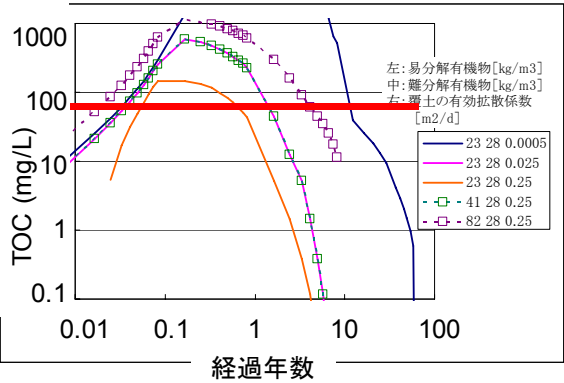


図 2 数値解析モデルによる埋立処分場の安定化促進構造説明
安定化に要する年数（TOC が 60 mg-C/L 以下：赤実線）

表 1 覆土の透気性と初期有機物含有量の安定化に及ぼす影響

		拡散係数		
		1/1000	1/10	標準(砂)
有機物量	標準	12.3	1.6	0.8
	×2			1.6
	×4			4.9

また、焼却灰を中心とした埋立物中の塩類の溶出¹²⁾や中性化¹³⁾が添加されたコンポストのような有機物の好氣的生物化学的分解により著しく促進されること、特に不溶性のフィリーデル氏塩の形成抑制効果が高いことが示され、今後焼却灰を中心としたモノフィル埋立のセメント資材利用（例えば備蓄型埋立）への重要な成果である。

本研究では前処理による埋立物の品質制御と埋立層の物質移動特性改良による生物分解性の向上による安定化時間の効果をモデル解析によって検討した。得られた結果は既に朝倉¹⁴⁾によって報告されているように、初期有機物含有量を 1/4 にすると必要な安定化（維持管理）期間が 1/5 に、また覆土の拡散係数を 1000 倍（粘土→砂）に変えると 1/10 以下になる。但し、本結果はモデルや利用している速度パラメータ等の精度に問題があるので、安定化期間は定性的である。今後さらにモデルの改良とパラメータの精査が必要であるが、安定化期間の変化はおおよそ捉えているといえる。

ところで、田中（2005）は 20 世紀末からの世界的な埋立概念論の発展に対応して表 2 のような現状概

表 2 埋立地概念のいろいろ

- ① 蓄保管型埋立地
- ② 恒久土中保管型埋立地（完全封じ込め型）
- ③ 積極的安定化・前処理型
 - ・微生物反応器型埋立地（埋立地内での安定化）
 - ・機械的・生物学的前処理型埋立地（ドイツ型）
 - ・低負荷物(準安定化物)反応器型埋立地
 - ・焼却+資源化残さ埋立（日本、スイス型）
- ④ 安定化物埋立型
- ⑤ No-landfill 埋立地不要

念を整理している¹⁵⁾。近年わが国の性能指針に取り入れられた超低リスク埋立地¹⁶⁾である覆蓋型埋立処分場（クローズド処分場とも言われている）は、①の備蓄保管型でもあり、また②の恒久土中保管型ともいえる。本研究で取り扱っている埋立物は、基本的には管理型を対象とした生物分解性で非有害性の埋立廃棄物であり、埋立地の概念からは③の焼却＋資源化残さ埋立に該当し、前処理によって有機物含量を減らすとともに埋立方や埋立構造改善により反応速度を著しく高めたバイオリアクターランドフィルである。従来、埋立処分場の覆土は設計パラメータではなく、衛生的概念からの覆いであり、むしろ降水浸透を防止（浸出水抑制）から厚さ等が定められていたものである。しかし、バイオリアクターランドフィルとして持続可能埋立処分の概念を積極的に導入し、循環型社会に相応しい埋立処分システムを構築するには、埋立廃棄物の品質改善と同時に安定化速度に著しく影響を与える覆土の流動特性改善の設計を導入する新たな埋立構造の改善を提案する。

5. おわりに

循環型社会が受け入れ可能な埋立処分システムとして持続型埋立処分の一形態である高規格埋立処分システムを提案した。それは埋立物すなわち入り口制御と安定化を促進する新たな構造設計の提案である。その結果として定性的ではあるが、既存の安定化期間を著しく短縮できることを確認した。モデルの脆弱性や速度パラメータの精度など課題もあるが、バイオリアクターランドフィルの持続性に関する研究ターゲットが明確になったことは断言できる。

本討論会の課題「持続可能な処分場－“高規格処分場 Integrated Waste Landfill Site”の提案」は、環境省地球環境保全等試験研究費（公害一括）の研究成果の一部を発表したものである。記して関係者に謝意を表したい。

参考文献

- 1) 田中信壽：第2章持続可能な埋立戦略とは、in 持続可能な埋立処分戦略—21世紀の廃棄物最終処分を提案する！—（持続可能な最終処分戦略研究会未発表資料）（2005,1,30）
- 2) Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development, <http://www.worldinbalance.net/agreements/1987-brundtland.html>
- 3) Stegmann, R., K.-U. Heyer, K. Hupe, M. Ritzkowski; Discussion of criteria for the completion of landfill after care, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, 6-10 October 2003, Sardinia, Italy.
- H. SCHARFF, B. KOK, A.H. KROM
- 4) Keith Knox; Sustainable Landfill in the UK: A Review of Current Knowledge and Outstanding R & D Needs, NORLANDS Foundation and ESART (2000)
- 5) Environment Agency (2005), Guidance on Landfill Completion and Surrender, Report:LFTGN09, Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, BS32 4UD Bristol, United Kingdom.
- 6) Hjelmar, O., J.B. Hansen (2005); Sustainable landfill: the role of final storage quality. Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, 3-7 October 2005, Sardinia, Italy.
- 7) H. Scharff, B. Kok, and A.H. Krom; The Role of Sustainable Landfill In Future Waste Management Systems, *Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 1 - 5 October 2007*
- 8) H. Scharff, J. Jacobs, H.A. van der Sloot, and A. van Zomeren; Inorganic waste landfill and final storage quality, *Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 1 - 5 October 2007*
- 9) 井上雄三：社会システムとして持続可能な最終処分：高規格最終処分とは—研究全体の枠組み、平成

20 年度廃棄物学会研究討論会，2008, 6, 12（学士会館）

10) 山田正人：産業廃棄物フローのデータベース化と制御方法の検討，平成 20 年度廃棄物学会研究討論会，2008, 6, 12（学士会館）

12) 渡辺洋一：前処理技術による埋立廃棄物の品質改善，平成 20 年度廃棄物学会研究討論会，2008, 6, 12（学士会館）

13) 朝倉宏：覆土と廃棄物層の透水性が埋立廃棄物の安定化に与える影響，平成 20 年度廃棄物学会研究討論会，2008, 6, 12（学士会館）

14) 島岡隆行：安定化促進のための埋立方法（有機物混合，塩素挙動），平成 20 年度廃棄物学会研究討論会，2008, 6, 12（学士会館）

15) 田中綾子：堆肥化物の覆土利用による焼却灰主体の埋立地の土壌還元化，平成 20 年度廃棄物学会研究討論会，2008, 6, 12（学士会館）

16) 井上雄三：廃棄物埋立処分場の未来形，科学，Vol.78，No.2，188-190（2007）