

# The 5th Intercontinental Landfill Research Symposium の報告

国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター  
資源化・処理処分技術研究室 朝倉 宏

## 1. 参加学会名称

第5回国際埋立調査シンポジウム

(英語の名称) : The 5th Intercontinental Landfill Research Symposium

## 2. 開催場所及び開催期間

アメリカ, コロラド州, デンバー, 2008年9/10(水) ~ 9/12(金)

## 3. 学会概要

当該国際会議は、2004年に発足し、2年ごとにスウェーデン(ルレオ大学)、アメリカ(ノースカロライナ大学)および日本(北海道大学)を候補地として順番に開催されている。

学会の目的は、指導者の立場の、埋立地と関連した広い範囲のトピックスに携わる研究者と実務者を集め、議論を進め、現在の知見と将来の方向性について討論することである。研究内容の発表というよりも、同じ事項に興味のある参加者同士の議論を行うことがより重要な目的であることが、他の学会と異なる点である。

## 4. シンポジウム構成

シンポジウムは3つの会場と一つのポスター会場で行われた。セッション区分は、埋立地から発生するメタンとその酸化、不確実ガス発生モデル、埋立地設計の主要および少数の失敗と得られた教訓、都市ごみ埋立地の温度とエネルギー、埋立地微生物学、埋立地モデリングの連携、埋立地カバー構造、ガスの測定・モデリングと管理、埋立地閉鎖である(表1および図1)。

## 5. 参加セッションの発表概要

### (1) 埋立地から発生するメタンとその酸化

埋立地層内から発生する地球温暖化ガスであるメタンの測定事例、実規模における測定例と全メタン発生量の定量および覆土による酸化量の評価、メタン発生量の評価表の開発などに関する議論を行った。

### (2) 不確実ガス発生モデル

処分場間の変動性はどれほど重要であるか、ガス発生初期値は他に対しても使用可能か、変動性はある処分場の中でどれほど重要であるか、管理上の慣習によって変

表1 セッションのタイムテーブル  
Tentative Schedule - Subject to Change

	Track A	Track B	Track C
Wednesday, September 10			
13:30	Optional Hike on the Wheeler Lakes Trail ( <a href="http://www.summitcountexplorer.com/summitkingtrails.htm">http://www.summitcountexplorer.com/summitkingtrails.htm</a> )		
19:00 - 21:00	Opening Reception		
Thursday, September 11			
8:30-9:00	Opening Session		
9:00 - 12:00	Landfill Methane and Oxidation I: Laboratory Studies	Uncertainty in Gas Generation Model Parameters	Major Disasters or Minor Mistakes in Landfill Design, Operation and Research
12:00-13:00	Lunch		
13:00-14:30	Poster Session		
14:30-17:30	Landfill Methane and Oxidation III: Field-Scale Investigation and Quantification of Methane Oxidation	Bioreactor Landfills: Temperature and Energy Issues	Landfill Microbiology
18:00	Depart for Dinner in Leadville		
Friday, September 12			
8:30 - 11	Coupled Modeling of Landfills	Landfill Cover Construction: Alternative Materials and Design	
11:00 - 12:15	Poster Session		
12:15 - 13:30	Lunch		
13:30 - 16:00	Landfill Methane and Oxidation IV: Scaling up: Modeling at the Regional Level and New Methodologies for Carbon Credits Monetization	Solids Decomposition: Experience From Laboratory and Field-scale Research	
16:00 - 16:30	Break		
16:30-18:30	Landfill Methane and Oxidation II: Development of Methane Emission Measurement Methods	Measuring, Modeling and Controlling Gas Flow in Landfills	Demonstrating End-of-Life and Cessation of Care
19:00	Closing Session and Dinner		

動性を予測することができるか、モデル改善のために埋立廃棄物に関する情報が必要か、複雑なモデルは不確実性を減らすか、どの方向性でモデルは改善されるべきか、についての議論を行った。

### (3) 埋立地設計の主要および少数の失敗と得られた教訓

失敗事例を披露することによって会場の笑いを得ることではなく、同業者の失敗から学ぶことを目的としている。このセッションは、埋立地研究における主要な失敗に関する雑誌発行の最初のステップとなる可能性がある。ここでは、故障の理由、失敗はどの程度回避可能であったか、適切なタイミングで処置が出来たか、結果は別の事項に対して使用可能か、すべての事柄は望んでいたことと不意に起きたことのどちらか、その知見は他のため教訓とすべきことがあるか、についての議論を行った。

埋立地を不発弾の処理場として使用することによるしゃ水工への被害など、しゃ水工破損には後発性の人的な要因があることが紹介された。また、汚泥処理施設のプロセスとして深層曝気槽を設置し、数回にわたって建て増しなどを行った所、外壁が耐えられずにひびがはいたこと、深層曝気によって汚泥が噴出してきた事例が見られた。

### (4) 都市ごみ埋立地の温度とエネルギー

どのような温度反応が好気性および嫌気性バイオリクター埋立地で観測されるか、バイオリクター埋立地において温度調節する最もよい方法、埋立地内のエネルギー挙動をシミュレーションできるか、埋立地の急速な酸化を検出・管理できるか、将来の方向性と研究ニーズは何か、についての議論を行った。

埋立地反応による熱の発生は、化学および生物学的に引き起こされる。生化学的反応は大抵 70 度以下である。低温域では、微生物は化学反応に触媒作用を及ぼし、直接的な化学反応による熱を生み出す。しかし、周囲温度が 80 度程度になると、微生物に関しては致命的な限界であり、生物学的な発熱の影響は減少する。温度が上昇すると、直接的な化学反応によって全体の発熱反応により大きな影響を及ぼす。直接的な化学的酸化は 100 度近くの高温を引き起こす。発熱が持続的に起こると、廃棄物の中央に熱がこもる。この熱が効率的に放散されないならば、自然発火温度に達し燃焼が開始される温度は上がる。実際の嫌気性埋立地において 80 度を越える高温が観測された。議論では、化学的に酸化される廃棄物が混入していないか、嫌氣的埋立地では 40 度程度が限界であるので、どこからか空気が流入して好氣的ゾーンが埋立地内に形成されていないか、などの議論があったが、発表者からは具体的な回答が得られなかった。

### (5) 埋立地微生物学

微生物群相の特有な種は廃棄物の分解速度と分解範囲に影響するか、微生物の機能的遅延は、単種または少数の種の全体の影響を無効にするか、微生物群相または基質種類（すなわ



図 1. 会場の様子

ち浸出水と固体)は微生物の燃料電池などの次世代テクノロジーの開発についてどんな役割を果たすか、微生物の多様性に影響している最も重要な環境または水文学の要因は埋立地中の輸送と活性か、埋立地管理・バイオリクター操作・メタン生産向上・および廃棄物分解の改善に対して分子レベルの技術を使用できるか、についての議論を行った。

## 6. 参加者の発表内容と質疑応答の感想

### (1) 発表内容

自身の発表である「透水性が埋立層の安定化に及ぼす効果 (Effect of Hydraulic Conductivity on Stabilization of Waste Layer)」についての説明と議論を行った。

施設の老朽化による漏水の危険性や水処理コストなどの問題点を解決するために、最終処分場埋立層内の安定化を迅速に進め、管理を短期間で不要にできる最終処分システムを構築する必要がある。現在、高度水処理、被覆型の処分場、また鋼板遮水なども検討されており、周辺環境への汚染の漏えいを防止する技術は高まりつつある。次の段階で本質的に目指すべき方針は、埋立廃棄物の安定化を迅速に進行させ、浸出水や発生ガスが周辺環境を汚染しない程度まで埋立層内を浄化することである。層内の安定化反応を迅速に進行させるためには、埋立物の品質(入れる物)の選定と、層内の安定化反応を活性化させる埋立工法(入れ物、入れ方)を改善することが有効である。本研究では、この中でも埋立工法に関して廃棄物層の改善に着目し、難透水性の廃棄物の透水係数を向上させることによる層内への酸素供給量の改善効果を評価した。

この研究では、透気・透水性の悪い試料として汚泥を、良い試料としてスラグ(Slag)と建設混合廃棄物(C&D)を対象とした。スラグは比較的粒子の粗い、建設混合廃棄物は比較的粒子の細かい廃棄物の代表として想定している。汚泥として、有機性の下水汚泥等を用いると実験中に腐敗する恐れがあることから、無機性の建設汚泥を対象(Sludge)とした。Sludge に対し、Slag もしくは C&D の混合みかけ体積割合を 5 段階に変化させたものをサンプルとした。透気係数、屈曲係数および間隙代表径を測定し、Sludge への Slag もしくは C&D の混合による透気性の向上が、埋立層内の好氣的領域を拡大するのにどれだけの影響を及ぼすのかを考察した。

埋立層最下部(深さ  $L$  [m])が外気と接しており(浸出水で飽和していない浸出水集排水管などの直上を想定)、外気が下から上へ流れ、層内で好氣的分解によって酸素が消費されるとき、酸素の侵入距離(深さ  $A$  [m] まで)を求めた。田中ら(1986)は、層内と外気の温度差による移流に拡散フ

ラックスが伴う場合の酸素侵入距離を考え、関係式を導出した。本実験で得られた

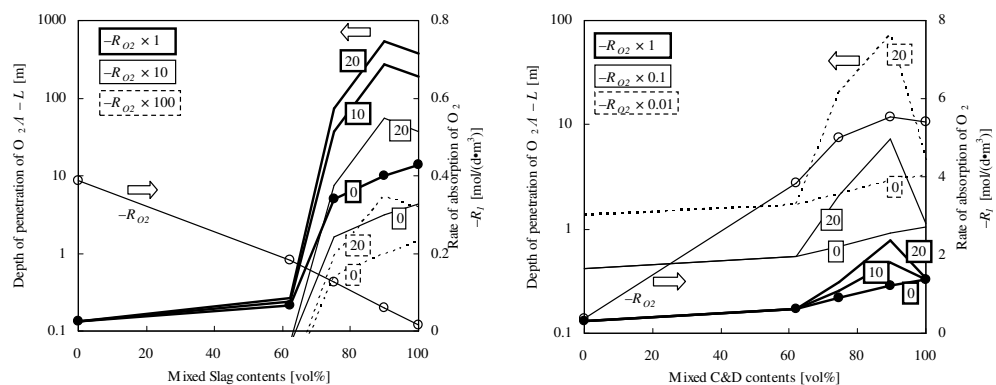


図 2. 混合量と酸素侵入深さ

パラメータと、筆者らの別の実験による酸素消費速度を用いて酸素侵入距離を計算した (図 2)。温度差による移流と濃度差による拡散による酸素の侵入深さのモデル計算を行った結果、酸素の侵入深さは廃棄物層の酸素消費速度の影響を大きく受けること、酸素消費速度を  $10^0 \text{ mol / (d}\cdot\text{m}^3)$  程度に出来るならば、体積割合 25 %の汚泥を粒子の粗い Slag と混合することで、酸素侵入深さを 2~7 m 程度確保することが出来る、ことがわかった。

次に、洗い出しや分解などの層内反応を表す既存モデルに対し、上下の覆土層からの外気との交換を表すモデルを組み込んだ。ここでは、初期廃棄物含有有機物量や覆土の透気性を変化させ、安定化に必要な時間の変化を比較評価した。計算値は、浸出水中の TOC のみである。仮に、TOC の値が  $50 \text{ mg}\cdot\text{C/L}$  程度まで減少するのに必要な年数を比較した (図 3)。覆土の拡散係数を 1000 倍 (粘土→砂程度) にすると 1/10 以下に、初期有機物量を 1/4 倍 (4 倍量→標準の埋立一般廃棄物程度) にすると 1/5 以下になり、覆土の透気性による影響が比較的大きいことが分かった。

本研究の必要性を以下に述べる。循環型社会構築への取り組みが進む中、最終処分場および処分場の上流側の施設を含めたシステムがもつべき機能は、(1) 処分場からの汚染放出物がコン

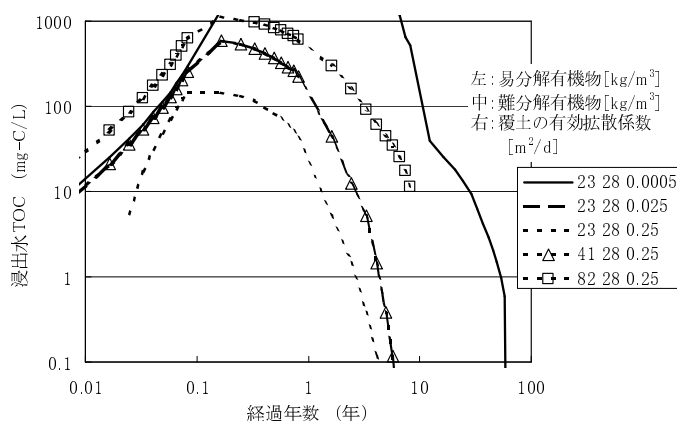


図 3. モデル計算による TOC 濃度の経時変化

トロール可能、(2)現実的な短期間において管理不要となるような安定化の促進、である。特に本研究では、選定された品質の埋立物に対して、埋立層内透水性を向上させることによって内部への大気導入量を改善し、安定化促進の効果を検証した。大気導入量は、埋立物の透水係数、酸素消費速度および埋立層厚さに大きく影響を受ける。本研究成果をもとに、1 層の埋立が完了した後のその上層に廃棄物を埋め立てる前に完了させるべき反応とその程度を、有機物についてシナリオを作成して数値シミュレーションをおこない、ある程度提案できることが分かった。この研究成果によって、安定化促進のための戦略的な埋立手法を構築することができる。また、欧州ではコンポスト化や焼却処理によって埋立廃棄物の有機物含有量が低減されてきており、将来、日本の埋立物に近づく可能性がある。このとき、当該埋立手法を紹介することによって、欧州の埋立技術を先導することが出来る。

## (2) 質疑応答

埋立層を難透水性のトップカバーによって封じ込め、雨水を排除することによって、廃棄物の過剰な分解反応の抑制と浸出水発生量を減量化することを方針とした欧州のなかで、覆土や廃棄物層の透水性を向上させ、埋立層の好氣的分解と洗い出しを促進し、早期安定化をねらう本手法の紹介は異質である。欧州も埋立物の早期安定化を模索しており、聴衆の興味を引いた。透水性を制御した覆土や廃棄物層の調整方法に関する質問を受けた。