HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	深い都市廃棄物堆積層における好気性微生物の分解作用に関する実験的研究
Author(s)	田中, 信寿; 牧, 明彦; 神山, 桂一
Citation	北海道大學工學部研究報告, 113, 89-95
Issue Date	1983-02-28
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/41779
Type	bulletin (article)
File Information	113_89-96.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第113号（昭和58年）

Bulletin of the Faculty of Engineering,
Hokkaido University, No. 113(1983)

深い都市廃棄物堆積層における好気性微生物の分解作用に関する実験的研究

田中信寿　牧　明彦*　神山桂一

（昭和57年9月30日受理）

An Experimental Study on Aerobic Biodegradation in a High Piled Layer of Municipal Solid Waste

Nobutoshi TANAKA, Akihiko MAKI, Keiichi KOYAMA

(Received September 30, 1982)

Abstract

The aerobic decomposing phenomenon in a layer of municipal solid waste where oxygen may be supplied at a low flow rate, compared with the amount of oxygen required by aerobes, under a natural oxygen defficient condition was experimentaly studied. Such an oxygen shortage condition appears to be normal in sanitary aerobic and semi-aerobic landfills.

Consequently, it was noted that there was a refuse decomposing zone with high oxygen comsumption of aerobes and that the zone gradually moved downwards. It was noted that almost gas phase in the layer was effective for gas movable space and the flow pattern of gas through the layer can be closely simulated by the piston flow model. It is expected to develop this study and make the simulation model of heat evolution and biological reaction in the layer, in order for this phenomena to be generally described and solved on the specified boundary conditions.

1．はじめに

都市廃棄物処分は，主として中間処理として焼却処理を行なった後，残渣を埋立処分する方法と，直接に埋立処分を行なう方法のいずれかによっている。近時，都市近郊では埋立用地の確保が困難な状態にあり，廃棄物の減量による埋立地の効果的利用，あるいは埋立地に搬入される汚濁量の減少の有効な手段として焼却中間処理・残渣埋立処分方式が多く採用されつつある。直接埋立処分は経済的に有利な処分法であるとともに，生物の自浄作用により，廃棄物を緩やかに土と気体にかえすという極めて自然な方法である。これは，焼却処理が急激な高温酸化処理であるために，有害物質が新たに生成されるかもしれないという潜在的危険性を内包しているのに対比して，すぐれた特徴である。しかし，直接埋立処分は汚濁度の高い浸出水の流出や悪臭ガスの漏出，廃棄物の飛散やカラスの襲来などによる住環境の悪化などの環境問題を引きおこす事例があり，しかも，これらの汚染は長く継続する。

衛生工学科　清掃工学講座
* 現在，千代田デームス・アンド・ムーア（株）勤務

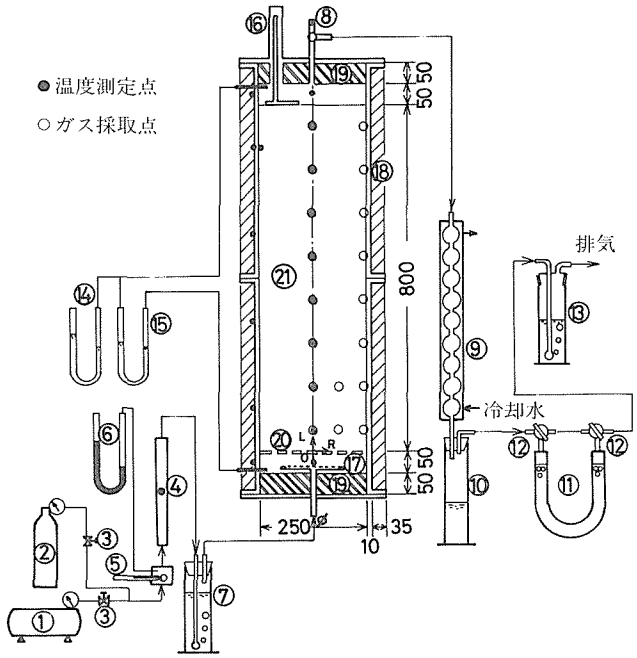
このように現在の都市廃棄物処分法には，それぞれ利点，欠点があるが，欠点として指摘されるものの中には，経験や研究の不十分さから来ているものも少くない。埋立処分に伴なう環境問題に対処するために，処分場が具備すべき技術基準が制定され，また，埋立処分の特徴である自浄作用の効果的発揮のための埋立工法の提案がなされ，その設計基準について研究が進んでいる[1)2)]。これらの技術の中で好気性微生物の活発な有機物分解力を利用した好気性埋立，あるいは准好気性埋立が注目されている。前者では，廃棄物層内に強制的に空気を吹き込むことで，また，後者では，廃棄物層内に生ずる温度差，あるいは水分移動を利用して通気を行ない，好気性分解を促進しようとするものである。

本報告は，これらの好気性埋立，あるいは准好気性埋立において，基礎的な現象として生じていると思われる深い廃棄物層での好気性分解プロセスについて実験的に知見を得ようとするものである。深い廃棄物層とは，廃棄物層において好気性微生物が消費する酸素量に対して埋立地へ供給される酸素量が小さいことを意味している。これをとりあげた理由は好気性埋立においてはエネルギー面から考えて，通気量をそれほど大きく設定できないのが常態であろうし，准好気性埋立においては自然的換気であるため，大きな通気量が期待できないからである。

2．実　　験

埋立地に堆積される廃棄物層を模擬するために，内径 25 cm の塩ビ製円筒カラムに 80 cm の高さに摸擬都市廃棄物（以下，人工ごみという）を堆積し，ごみ層下面から一定流量で通気を行ない，温度，ガス組成の変化を測定した。実験の概略のフローは図1に示すとおりである。人工ごみ[2)]は当研究室で組成を独自に決定したもので，日本の平均的都市廃棄物を想定している。これには，微生物分解に不活性なプラスチック，ガラス，陶器，金属類などは含まれていない。

塩ビ製カラムの外側面には 3.5 cm 厚のウレタンフォームを，また上下面の内面には 5 cm 厚



①送気用ベビーコンプレッサー
②窒素ボンベ
③流量調節用ニードルバルブ
④流量計（ロタメーター）
⑤流量補正用温度計
⑥流量補正用水銀マノメーター
⑦加湿器
⑧出口ガスサンプル口
⑨凝縮器
⑩凝縮水補集用メスシリンダー
⑪水分吸着用塩化カルシウム管
⑫三方コック
⑬アンモニア吸収ビン
⑭カラム内圧測定水マノメーター
⑮圧力損失測定用水マノメーター
⑯沈下量計
⑰通気用スパージャー（円型）
⑱保温材（ウレタンフォーム）
⑲保温材（スォームポリスチレン）
⑳廃棄物層支持・通気板
㉑廃棄物層

図1　実験装置概略図

のフォームポリスチレンを用いて保温した。一方，ごみ堆積層が無限の拡がりをもち，水平方向には同一条件でごみ分解が進行するなら，水平方向への熱移動はゼロとなる。この実験装置は保温性は高いが，断熱系でなく，ごみ分解による発熱と保温材を通る放熱とがほぼ釣合っていることが簡単な計算で予測できた。実際の埋立地における温度等の境界条件は埋立地内部の状況が完全に知られていない現在においては，ほとんど未知であると言ってよい。したがって本実験は，1つの特殊な境界条件のもとでの結果であるが，深い廃棄物層における分解現象について多くの知見を与えると思われる。さらに，このような研究を発展させ，層内で生じている熱と物質移動を含んだ微生物反応のモデル化ができれば，任意の境界条件に対して，その挙動を解くことが可能となる。

人工ごみの材料は，厨芥類は約1 cmに，またその他のものは約3 cmに切りそろえ，水道水を加えて水分の調整をし，よく混和する。均等性に注意しながらカラム内に充填し，一晩(約16時間）放置した後，通気を開始した。この時点を実験開始日時とした。植種のために北大農場の土を混入した。

実験条件などを表1に整理して示した。

また，実験最終日前日に，ごみ層内のガスの混合状態を知るために，通気を空気から窒素に切替えて，トレーサー応答実験を行なった。

測定項目および測定位置は次のとおりである。

（1）温度測定

・ごみ層内温度（$R=0$ cm で$L=5$，15，25，35，45，55，65，75 cmの各位置で）

・カラム上下空間温度

・塩ビ製円筒カラム外表温度（$L=-2.5$，10，30，50，70，82.5 cmの各位置で）

・塩ビ製円筒カラム内表面温度（$L=70$ cmで）

・室温

ここでRはカラム中心軸から半径方向に測った距離，Lはガス吹込板から流れ（上）方向へ測った距離を示す。これらはいずれも白金抵抗式温度計を用いて自動記録した。

（2）ガス組成測定

・ごみ層内ガス採取点

中心軸（$R=0$ cm で$L=5$，15，25，35，45，55，65，75 cmの位置）

カラム壁近傍（同一の高さLで$R=12.0$ cmの位置）

半径方向中間点（$R=6.0$ cmで$L=5$，15 cm）

・出口ガス（図1⑧）

上記の各点で採取したガスを熱伝導型ガスクロマトグラフに注入し，ピーク高さから検量線を用いて定量した。炭酸ガス，窒素，酸素＋アルゴン以外のガスは検出されなかったので，これらの和が100%となるように修正し，乾燥ガス組成とした。

（3）その他の測定項目

ごみ重量及び含水率は実験開始時と終了時に測定した。廃棄物層の沈下量及び圧力損失は，随時測定した。排ガス中のアンモニア及び水溶性有機炭素量は，凝縮水とアンモニア吸収液(0.5%ホウ酸溶液）を混合させたものについて分析し，求めた。

3．結果と考察

好気性微生物は，ごみ中の有機物を栄養として利用し，増殖する。その際，酸素を吸収し，有

機物を炭酸ガス，水などに分解し，また熱を発生する。この作用を利用してごみ中の有機物を減少，安定化しようとするのが好気性及び准好気性埋立工法の考え方である。したがって，この現象は，温度や酸素濃度を測定することによって把握することができる。

実験は，好気性微生物の活発な活動を高温度と高酸素吸収が，すべての層で終了した後に打切った。これ以後はゆるやかな速度でごみ分解が長期にわたって継続する。

まず，実験結果のうち，ごみ質量や含水率などを表1に，また圧力損失や沈下量などの経時変化を図2に示した。表1から，ごみ減少量を計算すると2.14 kg(乾)であり，これは，初期ごみ量の29%に相当する。特に，埋立地において高汚濁水，悪臭の原因となる厨芥類がほとんど分解されていることが実験終了時の観察によって確認される。これらのことは好気性分解法の利点の1つである。

表1　実験条件など

使用ごみ：人工ごみ（冬型）
通気ガス：空気（0.3 ℓ/分(標準状態に換算)）
通気期間：30日間

	開始時	終了時
ごみ量(湿kg)	17.00	15.68
含水率(%)	56.9	66.9
堆積高さ(cm)	80	78.6

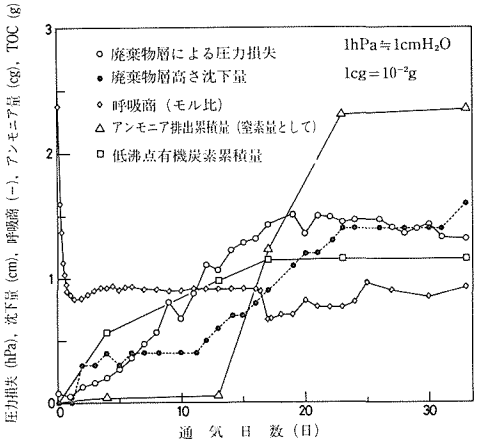


図2　圧力損失，沈下量などの経時変化

図2に示した測定項目について次のような特徴がある。圧力損失及び沈下量は活発なごみ分解が継続する期間（高いごみ層温度を示す期間）においてほぼ単調に増加し，その後は一定の値となる。呼吸商（発生した炭酸ガス量/吸収された酸素量）は，実験開始前（充填後）には通気していないために，廃棄物層内の酸素が消費され，炭酸ガスに変っているので実験開始直後は高い呼吸商となるが，これは急激に減少し，一般の好気性分解で見られる呼吸商1に近ずく。2日目頃まで（後述するように中温菌分解相で）は，低い値を示すが，再びわずかに上昇し，ほぼ一定の値で推移する。17日目頃（最上部の層が活発に分解される頃，後述の図3参照）に急激に低下し，その後，除々に増加する。アンモニアは，実験開始後ほとんど排出されず，最上部の層が活発に分解される頃に，その多くが排出される。絶対量としては多くはない。有機炭素排出量は実験開始時に多い。これは，実験開始前に嫌気的雰囲気でごみが放置されている間に生成した揮発性有機物等によるものと思われる。

3．1　廃棄物分解帯の移動

次に，廃棄物層でのごみ分解がどのように進行するかを見るため，各深さごとに測定した廃棄物層中心温度及びガス組成として酸素濃度の経時変化を図3，4に示した。いずれも実験開始時の0～2日間の部分を拡大して示した。廃棄物層の半径方向の温度差を中心軸上とカラム外表面との差でみると，中心温度の最高時（約63℃）に最大の温度差（約8℃）であった。塩ビカラム外表面温度の時間変化は，その深さにおける廃棄物層中心温度の変化と増減の傾向はよく一致している。

ガス組成の半径方向分布は$L=5$ cmで大きく，酸素濃度差として最大約5%であったが，それ以後は，その差は小さく，$L=55$ cm以上ではほとんど差はない。図4は半径方向のいくつかの測

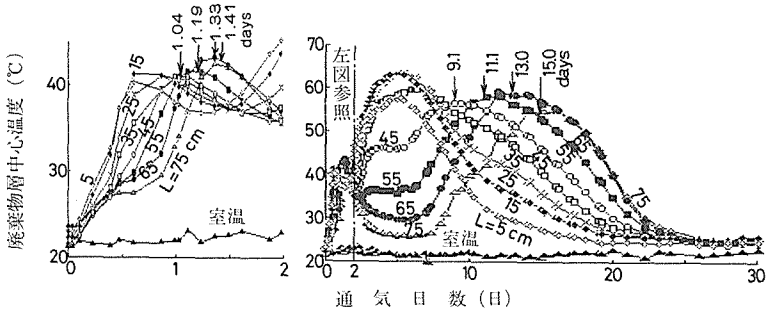


図3　廃棄物層（中心）温度の経時変化

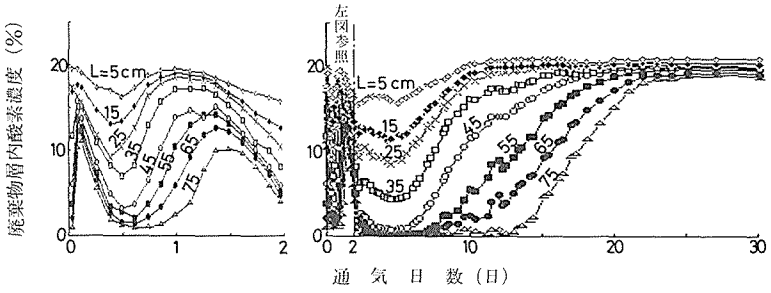


図4　廃棄物層内酸素濃度の経時変化

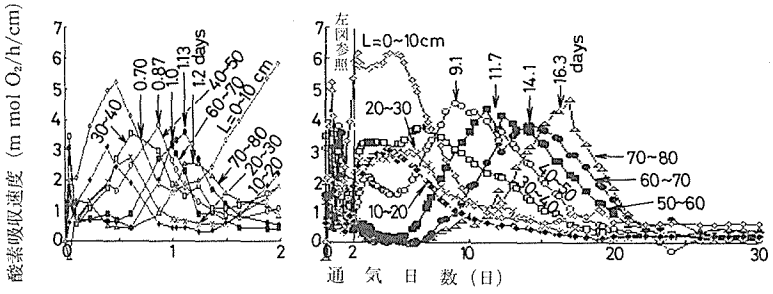


図5　酸素吸収速度の経時変化

定値の平均的な値をプロットしたものである。

図から廃棄物層のいずれの高さにおいても2つの分解相，すなわち，中温菌及び高温菌による各々の分解相がみられる。また層内に，ほぼ同傾向の経時変化をする低層（$L=0\sim35$ cm）と，分解の活発な部分が存在し，その分解帯が流れ方向に移動していく層（$L=45$ cm～）とがある。前者の存在は，廃棄物層を支持している通気板の形状（25 mm 格子状に 9 mmϕ の穴）によって生じた吹込流による半径方向及び流れ方向へのガス混合の影響を示していると思われ，本実験装置の装置特性を反映している。

分解帯の移動という現象は，酸素濃度によってその活性が大きく影響を受けるという好気性微生物の特性と，廃棄物層の高い保温性によって生ずる。通常の埋立地では空気流れに対して，このような形でごみの分解が進行していくものと思われる。以上に述べたことは，層を 10 cm ごとに区切り，その間での酸素消費速度を求めた図5からもよく分る。

分解帯の移動速度を図3と図5のピーク位置（図中に矢印で示した）の移動速度から求め，表2に示した。温度及び酸素消費速度のピークについて両者の位置は一致しない。その理由

表2　分解帯の移動速度（cm/日）

	ピーク位置移動速度から		供給速度 / 吸収量	酸素吸収量（モル/cm）
	図3から	図5から		
中温菌	65	80	54	0.075
高温菌	5	4	3.7	1.1

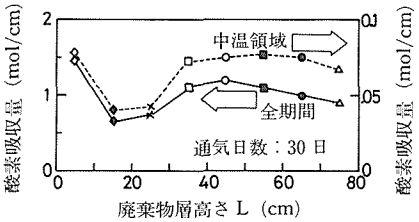


図6　酸素吸収量と高さLとの関係

は，分解速度は温度や酸素濃度以外の多くの因子の影響を受けるからであり，温度と酸素濃度も相互に強い関係があるからである。また，簡単に物質収支を考えてみると，分解帯の移動速度は酸素供給速度（本実験では4.0モル/日）と廃棄物層の単位長さ（厚さ）当りの酸素吸収量（モル/cm）の比で近似できるから，中温菌と高温菌分解相について計算すると表2のようになる。ピーク位置の移動速度から求めた値とほぼ一致する。なお，酸素吸収量は高さL＝30～70 cmの範囲について平均して求めた。

次に，単位長さ（ごみ厚さ）当りの酸素吸収量が流れ方向にどのように変化するかをみると図6のようになる。同図の意味は，例えばL＝10～20 cmの間での酸素吸収量の合計を層厚さ10 cmで除したものをL＝15の点に示している。同図から酸素吸収量の変化の特徴は0～10 cm間で高く，10～30 cm間で低いこと，及び40～80 cm間では徐々に流れ方向に低下していることである。0～10 cm間で高い値を示す理由は，層の下部でガス組成が半径方向に分布が大きかったことなどから考えて，主としてガス吹込み流の影響であると思われる。L＝40～80 cmで徐々に酸素吸収量が低下する理由は，廃棄物上層になる程，酸素供給量が減少する（下層部で酸素が消費される）ためであるが，通気を30日という日数で打切ったために，その影響をより大きく受けることとなったと思われる。

また，中温菌分解相の酸素吸収量を求めて，図6に示した。全実験期間で求めた値と同様の傾向であるが，その値ははるかに小さい。

3．2　層内のガス混合状態と有効空隙

実験終了前に通気を空気から窒素へ切替えて2回，また窒素から空気に切替えて1回，計3回のトレーサー応答を行なった。前者についてはL＝35, 55, 75 cmで，後者についてはL＝15, 35, 55 cmで測定を行なった。図7に結果を示す。図中の線は実測値を重ね合せて滑らかに結んだものである。なお，このトレーサー応答によって，ガス混合現象のみを正しく測定できるためには，

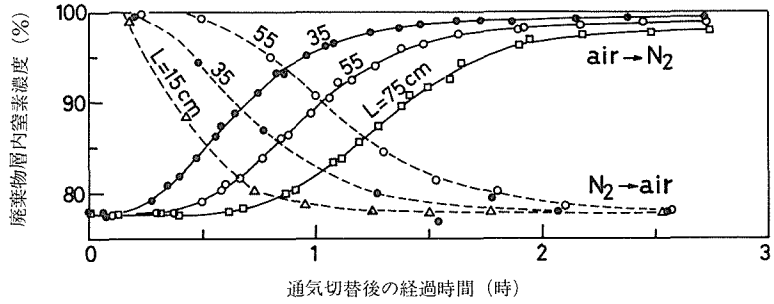


図7　トレーサー応答

呼吸商が1であって，酸素の吸収と炭酸ガスの発生に時間遅れがあってはならない。本測定での状況は近似的にこの条件を満たすにすぎない。

図7からL＝15 cmのものを除いて各Lにおいて応答波形はほぼ同形をしていることが分り，廃棄物層内のガス流れは，ほぼ押し出し流れで近似できると思われる。さらに，各応答波形の平均遅れ及び分散を求め，各測定点間の流れ方向の混合度を示すペクレ数Peを Arisの方法[3]により近似的に求めた。なお，Pe＝0で完全混合，Pe＝∞で押し出し流れに対応する。窒素から空気に切替えた応答からL＝15～35 cm間でPe＝9，L＝35～55 cm間でPe＝24，また空気から窒素に切替えたトレーサー応答からL＝35～55 cm間でPe＝16，L＝55～75 cm間でPe＝78と求まった。上層にゆくに従い，押し出し流れの状態に近づくことが分り，通気板からの吹込流れの影響によって本実験装置では下層側で混合度は大きいが，廃棄物層では基本的には，押し出し流れが形成されると考えてよいことが分る。

次に，各応答波形の平均時間遅れから空隙率を求めると，57～69%の値が求まり，平均すると62%となる。本実験の終了時のごみ(乾)，水分，空気の容積率を，乾ごみの真密度(1.54 kg/l(実測))によって求めると，各々，9，27，64%となり，この空気容積率は，応答による空隙率とよく一致する。したがって，本実験のごみ充填と通気量の条件のもとでは，ごみ層内間隙のほとんどに通気がゆきわたっていると考えてよいことが分る。

4．おわりに

埋立処分を確実なものとするためには，埋立地内で生じている生物学的・物理化学的諸現象を正しく理解することが必要である。ごみ層内を空気が浸透移動し，好気性微生物反応を促進させるプロセスは好気性ないし准好気性埋立地における基本的現象の1つであり，本実験は1方向に空気が浸透していく時の現象を実験的に扱ったものである。これをさらに普遍的な結論とするためには，ごみ層で生ずる微生物反応のシミュレーションを完成する必要があり，本実験の結果はそのためにも役立つと思われるが，さらに検討を進めたい。

本実験によって得られた主な結果は次のとおりである。

ごみ層の酸素要求量に比べて供給される酸素量が少ない場合には好気性微生物反応の特に活発な分解帯が生じ，その分解が時間と共に流れ方向に移動する。それは中温菌分解相，高温菌分解相のいずれにおいてもみられ，その移動速度は酸素供給速度とごみ層の単位厚さ当りの酸素吸収量との比にほぼ等しい。また，ごみ層内のガス流れは本実験条件のもとでは，押し出し流れであり，ごみ層内の空気相のほとんどが有効空隙と考えてよい。

引用文献

1）花嶋正孝　他：土木学会論文集，No.310（1981－6），p. 69～76
2）神山桂一　他：衛生工学研究論文集　19（1983），p. 136～145
3）Aris, R. ：Chem. Engng. Sci., 12（1960），p. 69