

II—21 寒冷地における下水汚泥コンポスト化施設の設計

札幌市下水道局工事部 藤田 幸宏
 札幌市下水道局工事部 石倉 昭男

1. はじめに

下水道の普及率が向上して、生活環境は快適となり、都市を流れる河川は清流を取り戻しつつある。しかし、下水処理場では発生する汚泥量が年々増え、その処分方法が大きな課題となっている。

下水汚泥の起源は、家庭の雑排水や尿、工場排水および雨水中に混入している土砂などであり、処理場内で沈殿除去される初沈汚泥と、汚水の浄化微生物の集合体（活性汚泥）である余剰汚泥とで構成される。下水汚泥は、かつて資源として長い間活用され日本の農業を支えてきたし尿などの有機物や肥効成分を豊富に含んでおり、省資源的な観点からもこの特性を生かした処理処分方法の確立が望まれていた。

札幌市の汚泥処分は、汚泥焼却灰を除き、重金属濃度の低い安全な汚泥はその大部分を緑地還元依存してきた経過がある。しかし、5年程前より ①脱水ケーキの取扱性の悪さ、②臭気、③農地に施用する場合の種々の規制、などにより需要の減少をきたしたため、これらの問題を解決するために汚泥のコンポスト化に取り組むこととなった。

コンポスト化施設は全国的にも例が少なく、寒冷地では皆無であったため、昭和54年に実験プラントを建設し、施設の建設に必要なデータを収集して、昭和57年度から処理能力100名のコンポスト化施設の建設を行い、58年7月から当初能力50名で運転開始予定である。

ここでは、実験プラントの運転から得られた経験と結果の一部を紹介し、寒冷地におけるコンポスト化施設の基本的な設計理論などについて述べる。

2. コンポスト化プラント実験

1) 実験施設の概要

- | | |
|------------|--|
| (1) 実験場所 | 札幌市白石区厚別町山本711～9 厚別下水処理場敷地内 |
| (2) 実験棟 | 農業用ビニールハウス 10 ^m × 30 ^m |
| (3) 処理能力 | 脱水ケーキ 1 ton/日 |
| (4) 運転方式 | 稲ワラ、もみがらなどを使用しない無添加方式 |
| (5) フローシート | 図-1 |
| (6) 脱水ケーキ | 混合生活泥兼圧加圧脱水ケーキ（石灰＋塩鉄） 含水率 55～65% 発熱減量 40～50% |

2) 運転方法

(1) 脱水ケーキの破碎

加圧脱水ケーキは径10～30^{mm}、厚さ10^{mm}前後の板状であるため、これを破碎機にかけて平均粒径20^{mm}程度として、効率的な発酵を促進させる。

(2) 発酵槽への投入、堆積高さ

発酵槽入口部ヘシヨバルローダで直接投入する。投入は脱水ケーキ、返送物（発酵槽を一度通過した汚泥）が層状になるように行い、その後切返機で混合攪拌する。堆積高さは投入部で1.0～1.5^mである。

(3) 切返し

回転パドル型切返機で発酵槽出口部から入口部に向って切返す。切返し頻度は4～7回/日である。1回の切返しにより槽内の汚泥は、入口部から出口部に向って約1.5^m移動する。

(4) 発酵槽からの掻出し

切返しを行うと発酵槽出口部の污泥は、槽外に自然に掻出される。

(5) 篩分け

発酵槽掻出物は篩分けをして、篩上の粒径の大きい污泥は返送物とし、篩下は屋外に2次堆積する。

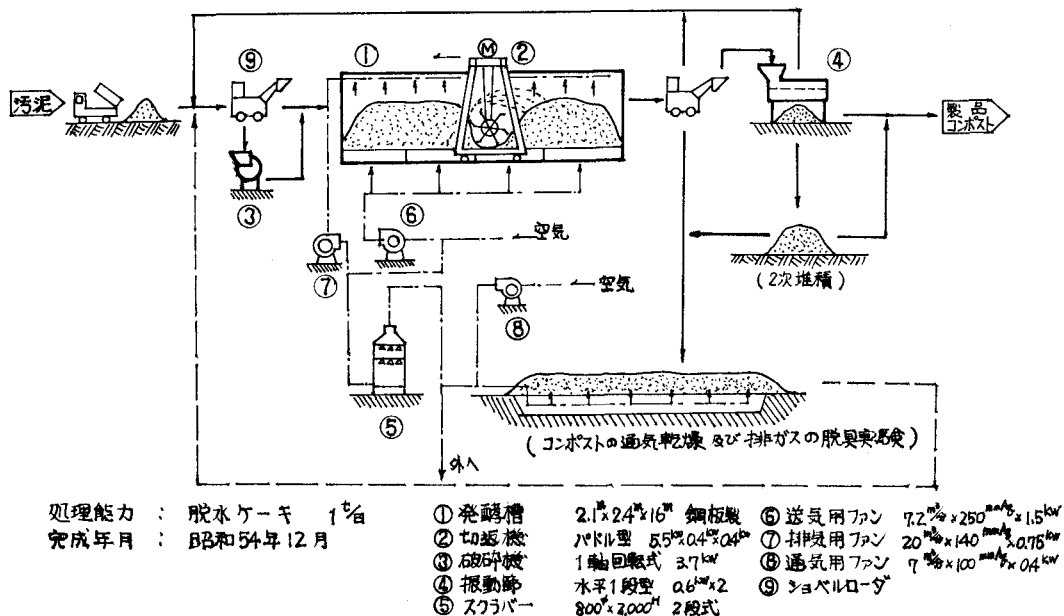


図-1 実験プラントフローシート

3) 得られた経験および結果

実験プラントの運転を実際に行ってみて痛感したことは、污泥を取り扱う技術は経験が最も重要、ということである。コンポスト化の実験では、実験条件の相違（添加物の種類および有無、脱水ケーキの種類、施設・設備の形式など）により、全く異なる結果が得られる場合があり特に注意を要する。また、実験期間については、定常状態に達するまで1～2ヶ月はかかるから十分な長さが必要とする。

(1) 通気性

コンポスト化は好気性微生物の働きにより行われるものであるから、最も重要なチェックポイントは発酵槽内污泥の通気性の確保である。特に、污泥は発酵を開始すると粘着性を増してベタつき易くなるため、発酵開始前に十分な通気性がある場合でも安心できない。通気性が確保できなくなるとだいに温度が下がり、嫌気性発酵を起こしてベタベタの真っ黒い状態となり、激しい悪臭を放ち失敗にいたる。

(2) 含水率

通気性を確保する手段には、添加物（稲ワラ、もみぐらなど）を用いる方式と返送物による方式とがある。前者の場合は添加物の混合率が十分であれば污泥の含水率は相当高くても問題ないが、後者の場合は発酵槽内污泥の含水率を低く保つ必要がある。無添加方式における污泥の含水率調整は通気性確保のためのものであり、水分自体は発酵にとってむしろ必要なものである。本市のような石灰生污泥の場合は、発酵槽投入物の含水率を最大でも50%以下とすることが必要であった。

(3) 返送物

返送物の役割は一般に含水率調整、PH調整（特に石灰汚泥の場合）、種汚泥の混合にあるといわれるが寒冷地においては温度調整の役割も大きい。発酵槽に投入された汚泥が発酵を開始するためには、ある程度高い温度が必要であり、返送物の温度が重要となる。本市の実験では、夏は低い返送率で問題ないが、冬期は100%（湿重ベース）程度が必要であった。

(4) 脱水ケーキの性状

脱水ケーキの含水率が低いほど、強熱減量が高いほど好調な発酵が期待できる。無添加方式の場合は、特に重要なチェック項目となる。なお、強熱減量の測定は、ケーキ中の石灰の形態変化による誤差を防ぐため、炭酸アンモニウム添加法を用いている。

(5) 送気量

送気は、好気性微生物に酸素を供給するためと蒸発した水分を槽外に排出するために行う。送気量は発酵槽内の温度分布をみながら調整するが、一般に必要な酸素供給量の数十倍を送気しており厳密な管理は必要ない。発酵槽内堆積汚泥1^mあたり50~150%程度であり、発酵槽前部は多めとし、また冬期は熱損失を抑えるため少なめとしている。

(6) 発酵経過（図-2、3）

様々なパターンがあるが図-2、3に厳寒期の1例を示す。含水率は投入混合物で45~50%あったものが、掻出物では30~40%となり、強熱減量も30%近くまで低下する例が多い。PHは脱水ケーキで10~12であるが、返送物と混合後1日後には9以下となり、掻出物は8台となる。

温度は概ね60~80℃を保ち、好気性発酵の指標となる炭酸ガス濃度は発酵前期に高い。

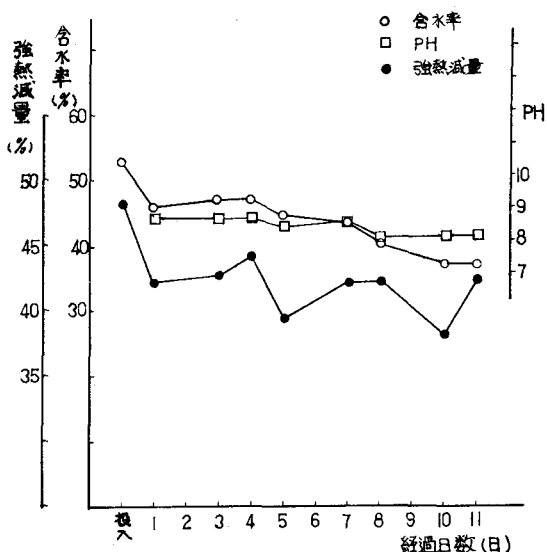


図-2 発酵槽内汚泥の性状変化の例（2月）

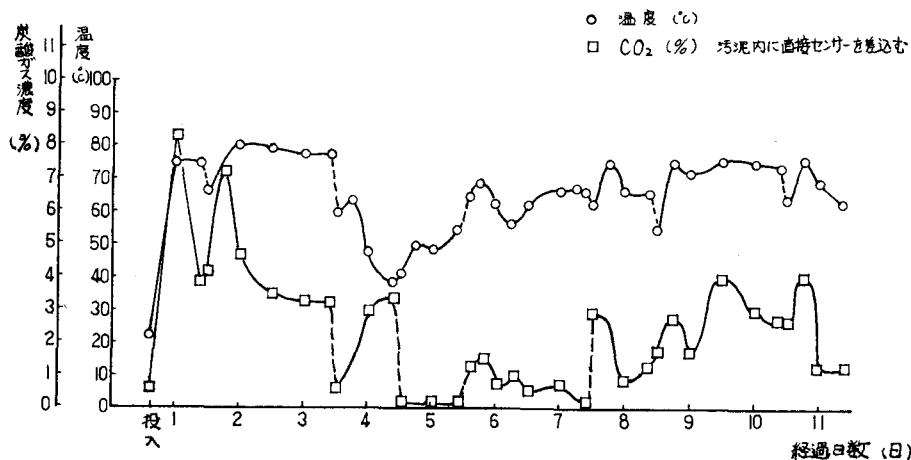


図-3 発酵槽温度、炭酸ガス濃度の例（2月）

(7) 発酵槽滞留日数

発酵槽の滞留日数の算出は式(1)および(2)による方法がある。返送物は基本的に系内での移動であるから、式(2)をベースに運転結果の解析を行った。

$$\text{滞留日数(I)} = \frac{\text{発酵槽内汚泥量 (t)}}{\text{脱水ケーキ量 (t/d)} + \text{返送物量 (t/d)}} \quad \text{---(1)}$$

$$\text{滞留日数(II)} = \frac{\text{発酵槽内汚泥量 (t)}}{\text{脱水ケーキ量 (t/d)}} \quad \text{---(2)}$$

* 各汚泥量は発酵で変化しない無機物量

必要滞留日数は種々の条件により異なり 20~50 日であったが、冬期間は長めである。

(8) 有機物分解率 (図-4)

投入した脱水ケーキ (返送物は除く) の有機物量のうち、分解して揮散する有機物の割合である。物質収支、熱収支上重要な指標となり、滞留日数と強い相関がある。滞留日数 40 日で約 50% の有機物がガス化する。但し、この関係は汚泥の種類やその他種々の条件により変化するものと想像される。

(9) 2次堆積、腐熟度の指標、製品の性状

発酵槽抽出物 (篩下) を 2 次堆積すると 1~2 ヶ月で安定化し、茶褐色のさらさらした粒状あるいは粉状で特有の堆肥臭のある製品となる。さらに長期間野積みすると黒っぽくなり団粒化した普通の土のようになって無臭となる。腐熟度の指標はいろいろな議論があるが、熟練者による色、臭い、手ざわりおよび強熱減量値がよいと思われ、最終チェックは幼植物試験による。

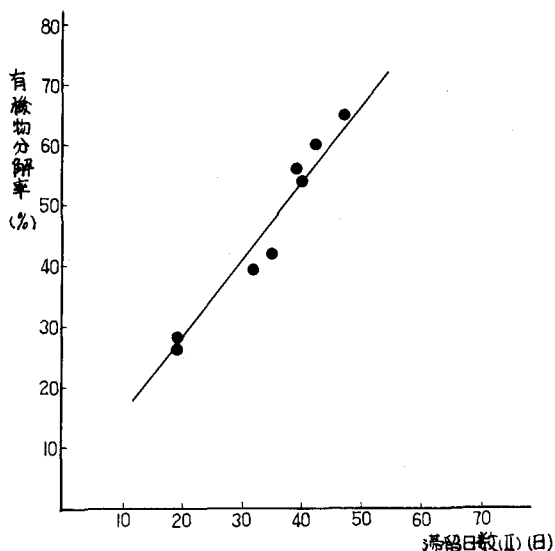


図-4 発酵槽滞留日数と有機物分解率

3. コンポスト化施設的设计

ここではコンポスト化施設の基本的な設計理論と寒冷地対策について述べる。

1) 物質収支モデル

コンポスト化は工学的には汚泥の自然乾燥炉と同様であり、脱水ケーキ中の有機物の分解エネルギーを熱源として水分を蒸発させる。特に無添加方式では、発酵槽投入汚泥の通気性の確保を返送物に依存しており、発酵槽における含水率低下の度合いが連続運転の可否を決定する。従って、発酵槽の設計はオ 1 に汚泥の発酵乾燥を主眼として行い、コンポストの腐熟度の調整は 2 次堆積プロセスで行うのがよいと考える。

図-5 が物質収支モデルであり、式(3)、(4)が物質収支式である。式(3)において、脱水ケーキ中の水分①、有機分②、無機分③は脱水ケーキの含水率と強熱減量によって決まるから、結局物質収支全体は、

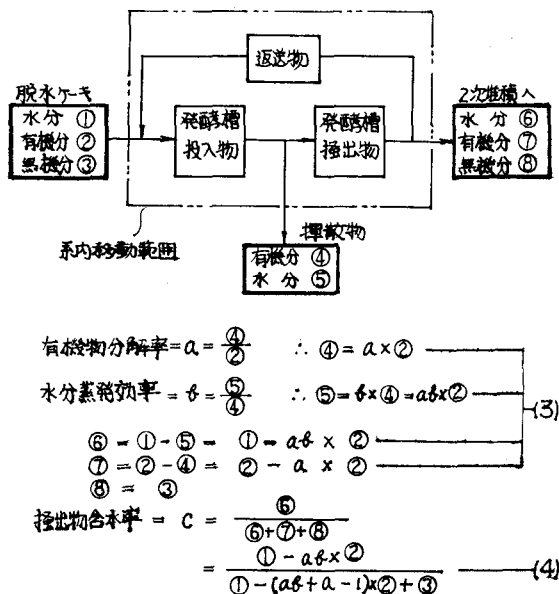


図-5 物質収支モデル

脱水ケーキの含水率、強熱減量、有機物分解率、水分蒸発効率の4項目で決定される。返送物は系内移動であり直接関係しないが、滞留日数に大きく影響して有機物分解率を左右する。

式(3)により計算された物質収支が現実と運転可能かどうかは、式(4)によりチェックできる。無添加方式の場合の抽出物含水率は、最大でも40%程度であり、それ以上では篩分けが難しく性状が著しく悪くなって、返送物としての機能が果せない。

2) 熱収支

物質収支を決定する4項目のうち、有機物分解率と水分蒸発効率は熱収支の検討から求められる。図-6が熱収支モデルと熱収支の一般例である。

有機物分解率を仮定して入熱を求め、運転条件から水分蒸発熱以外の出熱3項目を計算して、出熱全体(=入熱)から差し引いて水分蒸発熱を求める。こうして水分蒸発効率が求められ、物質収支が決定し、式(4)によりチェックする。不満足な場合は、有機物分解率を仮定し直して、くり返し計算する。

3) 脱水ケーキ性状と必要有機物分解率

水分蒸発効率は、プラント実験のデータをもとにおよその値は推定でき、夏で6~8、冬で3~5である。これを利用して、式(4)をグラフ化したのが図-7である。

図-7により、脱水ケーキの含水率と強熱減量を与えると、必要な有機物分解率が分る。このグラフは、設計上だけでなく、発酵槽の運転管理上も極めて重要なものであり、その脱水ケーキがコンポスト化可能かどうかの性状チェックに利用できる(条件別に水分蒸発効率を数段階に設定して作成するとよい)。

4) 発酵槽の設計

脱水ケーキの含水率と強熱減量を設定して、熱収支を検討し、あるいは図-7から必要有機物分解率を求める。つぎに、図-4より必要滞留日数を求めて、発酵槽容量が決定される。

また、熱収支の検討から水分蒸発効率が設定されるが、これを達成するための発酵槽断熱仕様は理論上決定できる。

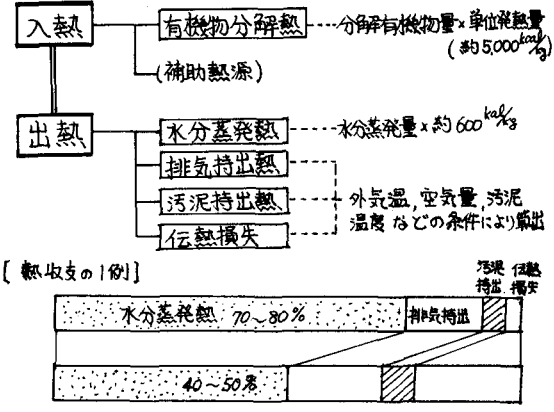


図-6 熱収支モデル

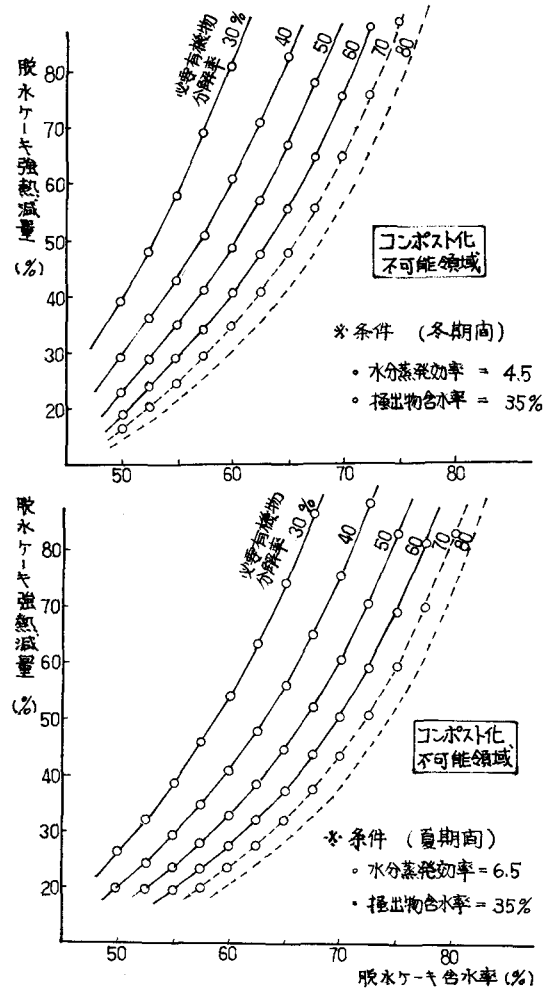


図-7 脱水ケーキ性状と必要有機物分解率

5) 寒冷地対策

寒冷地対策は、熱収支対策といってよい。熱損失をできるだけ少なくして、水分蒸発効率をできるだけ高く保つこと、および入熱をできるだけ大きくすることがポイントである。本施設の設計にあたって留意したことは、次のとおりである。

(1) 1次発酵槽と2次発酵槽の分離

1次発酵槽は発酵乾燥を主眼として、全体的に高温で連続運転し、返送物の温度を高く保つ。そのため、十分な断熱保温対策を行う。2次発酵槽は製品の安定化、腐熟度の向上をめざしており、バッチ的な運転を行い、特別な保温対策はしない。

(2) 熱回収

1次発酵槽は十分断熱するが、それでも槽壁、天井を通過する熱量は相当大きいので、1次発酵槽の回りの空向（通路や2重天内）から送気用の空気を取り入れ、熱回収を図った。

発酵槽排ガスは、その大部分は水蒸気潜熱であるが膨大な熱エネルギーを保有するため、熱交換器（ヒートパイプ式など）による熱回収を計画している（排ガス中のミスト、ダスト対策が課題）。また、発酵槽排ガスの一部を送気用空気として循環使用して、排気持出熱損失を少なくできるようにも考えている。

(3) 発酵槽滞留日数

冬期向は返送率をやや高めにし、発酵槽滞留日数を長くとり、高めの有機物分解率を得られるようにしている（入熱の増加）。

(4) 脱水ケーキの凍結防止

脱水ケーキは板状のままでは凍結し易く、凍結すると熱収支上極めて不利となる。一旦、破砕してから堆積して貯留すると凍結しにくい。また、貯留槽下部から温風で散気できるように計画している。

(5) 脱水ケーキの性状

熱収支を有利にするうえで最も効果的かつ基本的なことは、脱水ケーキの含水率低下、強熱減量アップである。したがって、冬期向はできるだけ低含水率、低棄注率となるような脱水機の運転を行う。

(6) 補助熱源

運転開始時の発酵のスタートアップや、どうしても入熱が不足する事態もありうるため、補助熱源装置を計画している。

4. おわりに

汚泥のコンポスト化施設は、種々の形式が提案されているが、いずれも実施の運転実績はほとんどなく、技術の蓄積に欠ける。寒冷地におけるコンポスト化には、こまかな課題がまだまだたくさんあるが、今後運転実績を積みながら一つ一つ解決して行きたい。

製品コンポストは、数年間にわたり栽培試験を実施中であるが、土壌改良材としての効果や肥効性は十分認められている。現在、コンポストの流通、販路について札幌市下水道資源公社が中心となり、関係諸団体と交渉中である。

さらわれものの廃棄物が資源として有効利用され、豊かなみのりを畑にもたらし、みどりのある美しい環境づくりの一助となることが私共の願いである。

