

＜論文＞

コンポスト製造における計測情報

The instrumental information on manufacturing process of compost

佐藤 美弥子, 井上 祥一郎

株式会社 エステム / 〒 457-0821 愛知県名古屋市南区弥次エ町 2-9-1

MIYAKO SATO, SHOICHIRO INOUE

S'tem Co.,Ltd /2-9-1,Yajie-chou,Minami-ku,Nagoya,Aichi,457-0821 JAPAN

Abstract

Even though composting technology for un-utilized organic wastes is an important factor in both restoration of fertility in agricultural land and recycling of resources, a practical composting technology based upon the knowledge of fermentation has not been established yet. Under such circumstances, we have conducted pilot study in order to establish reproducible composting system for livestock wastes with financial support by the Livestock Industry's Environmental Improvement Organization (LEIO). This report is an expanded sequel to the previously published report (1996), and focused mainly on conjecture of fermentation processes based upon experimental data and control system for aeration.

Key Words : compost, fermentation, livestock wastes, carbon dioxide, instrumental data

1 はじめに

廃棄物の適正処理が叫ばれるようになった昨今、家畜糞尿処理においても例外ではなく、各種機関において様々な政策的・技術的対策が講じられてきた。しかし、年間に排出される家畜糞尿約 9,430 万 t (1977 年) のうちリサイクル率は 94%とされているものの、不適正な処理に起因する地下水の硝酸汚染問題、飼料作物への弊害、悪臭や害虫の発生の存在は否めず、更なる対応が求められている。

一方、家畜糞尿等有機廃棄物から堆肥（コンポスト）を製造することは、特に最近の技術ではなく、古くから篤農家などでは知恵を凝らし良質な堆肥がつくられ、我が国の集約農業を支えてきた。近年廃棄物を資源へと転換し循環系を形成する有効な手段として再び注目されているが、時代の変化から規模の拡大と期間の短期化が必須条件となっている。

これまでの大規模・高速化を加味した堆肥化処理においては、含水率の低下等、取り扱い性状の向上を重視するあまり「乾燥」が中心で、「発酵」を軸と

したものは数少なかった。筆者らは、畜産廃棄物を主原料とした堆肥化試験から基礎的データの集積を行ってきた。それら計測データ等をもとに発酵プロセスの推察及びその運転方法（送気量のコントロール）について考察を行ったのでここに述べる。

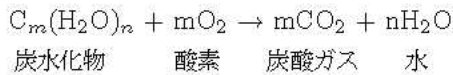
2 「発酵」に対する基本概念

堆肥化の目的は大別して①不安定有機物の分解、② C/N 比の改善、③ 細菌、害虫、雑草種子の不活性化、④ 汚物感の解消等にあるが、これら全てを達成するには『発酵（有機物の生物燃焼）』を欠くことは出来ない。④の汚物感の解消は『乾燥』による水分の蒸散のみで対応でき、また見た目にもわかりやすい。一方、その他については成分分析に依るか、実際に施肥してみなくては判断がつかず、これが堆肥購入者の品質に対する不安要素となり、普及を妨げる一因になっている。

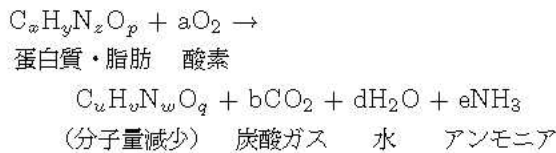
『発酵』には嫌気性細菌によるものと好気性細菌

によるものがあるが、ここで指すものは後者による『好氣的発酵』の位置づけである。堆肥化対象物中の有機物には、炭水化物、蛋白質および脂肪があり、好氣的条件下での各々の反応は次のように示される。

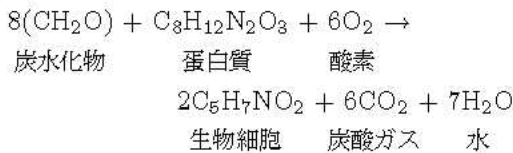
① 炭水化物の分解



② 蛋白質および脂肪の分解



③ 生物体の合成 (同化作用)



④ 生物体物質の分解 (異化作用)



工業化に向けた堆肥化施設では、その処理速度が嫌気性細菌による発酵に比べ迅速であることから、積極的な通気 (好気性処理) が行われている。

一般に堆肥化過程において『発酵』を確認する際には、対象である原料の温度経過が重要とされている。60~65°C 以上を一定期間保持することで、安全性の確保と原料中の微生物活動による活発な『分解』が進行、温度の低下により『発酵終了』と判断する。しかし、発酵が微生物による生物反応であるため、温度のみの計測では精確な発酵の状況把握には充分とは言えない。そこで好氣的条件下で生成される「二酸化炭素」と「水」の動態についても発酵状況を判断する指標として計測することで、より細かな微生物反応の推測が可能となると考えた。本試験は回分処理における堆肥化開始後約2週間の計測データ、観測・分析結果から物質収支を中心に『発酵』に関する基礎的データの集積を行ったものである。(Fig.1)

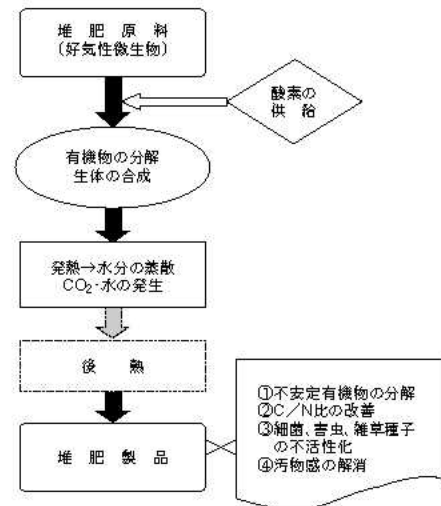


Fig.1 Conceptual diagram of composting process

3 試験方法

試験の堆肥化処理対象物は酪農糞尿混合物である。糞尿混合スラリーをスクリーンプレス式脱水機 (エステム製: BB 300) にて搾汁後、水分調整と空隙率確保のため適量の副資材 (廃オガ) と混ぜ合わせ原料とした。その後、原料を簡易発酵袋 (フレコンパック) に 1m³ を充填し、断熱材を施した密閉型反応槽にて静置して発酵を促した。搾汁ケーキ、副資材の原料組成を Table 1 に示す。

Table 1 Characteristics of raw materials

項目	単位	搾汁	廃オガ
カロリー	J/g	22,000	17,000
含水率	%	72.0	18.7
嵩比重	—	0.26	0.15
灰分	%	7.9	7.5
炭素含有量	%	44.5	45.1
窒素含有量	%	1.5	1.3
C/N 比	—	28.0	34.7

槽へは底部より強制通気を行う。送られた空気と原料との接触率向上と均一化を図るため、充填物の中心に約 10cm 間隔で千鳥状に穴 (φ 8mm) を開けた耐熱用塩ビ管を差し込み、周辺部から中心部に向かって空気は流れるものとした。排気はここからのみ行われるので、最も反応したガスを系外へと持ち出すことになる。通気方式には吸引送気、または送

気のみ(ワンパス)を採用し、発酵期間中の原料温度と Air 中の炭酸ガス(CO₂)および酸素(O₂)濃度を自動計測した。

堆肥成分の分析は発酵前・後の2回行い、分析結果、観測結果及び計測記録から堆肥の発酵状態を推察した。また、一定送気量による計測情報をフィードバックし、送気量の増減を行った場合の最適運転条件について検討を行った。

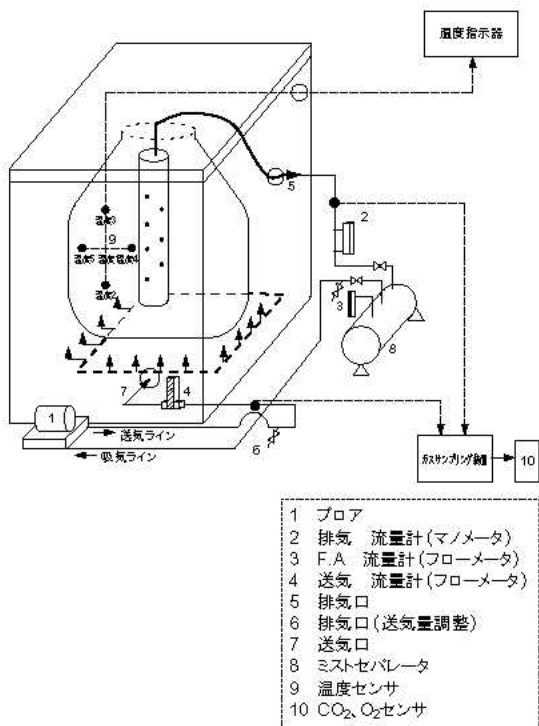


Fig.2 Test equipment

4 試験結果及び考察

4.1 原料温度と CO₂ 濃度

発酵期間中の原料温度、CO₂濃度の計測結果(RUN3, 4)をFig.3, 4に示す。また、各RUNの運転パターンについてTable 2に示す。

発酵初期において温度、CO₂濃度は比例関係にあり、最高温度に達する幾分手前でCO₂濃度は低下する。また、排気 Air 中のCO₂濃度が約12%を越えたまま送気を続けると、送気 Air 中の酸素量が不足し、好気性微生物の活動を阻害するため、温度上昇が妨げられることが推察された。発酵中期から後期

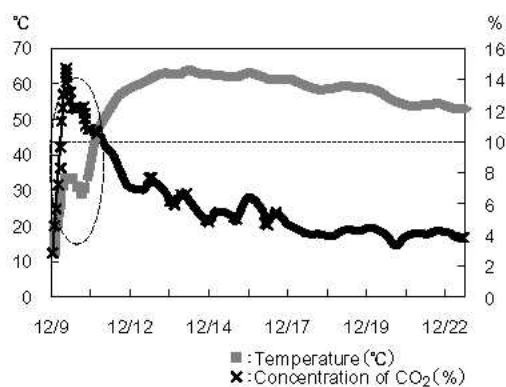


Fig.3 Experimental data-1 (RUN3)

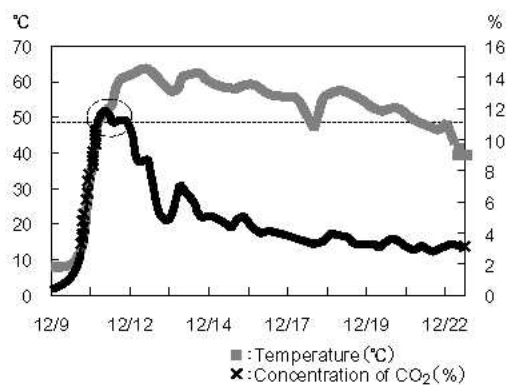


Fig.4 Experimental data-2 (RUN4)

に入ると、温度が維持されてもCO₂濃度は低下し、一定濃度で推移する。これは易分解物質の分解が発酵初期に集中し、その後反応の穏やかな分解(難分解質)行程へ移行したためと考えられる。また、この間排気 Air 中のCO₂濃度(約2~3%を目標値)から判断し、送気流量を後半に向けて絞り込んでいるが、温度が維持されていることから、微生物の活動を妨げない必要十分量の酸素が供給出来ていたと判断できる。

断熱材を施し密閉した発酵槽においては、熱の損失は送気 Air による冷却以外には起こりにくく、温度計測のみではその間の槽内の状況が見え難い。しかし、CO₂濃度を計測することで、より細やかな反応状況を推察することが可能であった。また、過度の送気は温度低下を招く一因と考えるが、計測したCO₂濃度を運転に反映することで、発酵中期以降の送気量を温度低下させることなく減量することができた。

Table 2 Pattern of operation

RUN No.		Air 設定量 l/min															
		1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日
1	F.A	80				50	80	60								50	
2	F.A	100					80	60	80								
3	吸気	50	50			50	50				50						
	F.A	15	50			40	30				20						
4	吸気	50				50					50			20			
	F.A	50				30					25			20			
5	F.A	80				60			50								
6	吸気	60			60	50			50								
	F.A	50			35	35			25								

Table 3 Result of Test

RUN No.	運転方式	開始日	発酵期間 (日)	嵩比重 (t/m ³)	含水率 (%)			分離水量 (L)	炭素分解率 (%/日)
					開始	終了	差		
1	送気のみ	10/16	16	0.26	63.1	46.6	▲16.5	89.7	0.69
2	送気のみ	11/16	14	0.33	63.5	52.3	▲11.2	75.7	1.29
3	吸引送気	12/9	16	0.30	66.3	62.3	▲4.0	79.1	1.75
4	吸引送気	1/12	14	0.28	65.2	59.6	▲5.6	66.8	1.64
5	送気のみ	2/8	14	0.30	65.4	67.9	▲2.5	51.4	2.29
6	吸引送気	3/8	14	0.33	64.0	62.8	▲1.2	71.1	2.21

4.2 水分・分解率

発酵前後の含水率等の変化について Table 3 に示す。

一般的に発酵（温度の上昇）によって水分は蒸散し、反応後の含水率は低下するとされている。また、その蒸散量をもとに所要熱量の算定を行っている。しかし本試験では、温度が上昇し、発酵期間中高温が維持されたにも関わらず、RUN3~6の含水率において僅かな減少、または逆に増加する結果となった。また、ここに示した分離水量とは、発酵槽底部のドレンと、排気ラインに設けたミストセパレータからの採取量とを併せた水量である。分離水量が多ければ含水率の低下は大きくなるはずであるが、両者の間に確かな相関は見られなかった。

分離水量の日変化を Fig.5 に示す。分離水量は CO₂ 濃度と共に、微生物の活動状態（分解反応）を示すものであるが、発酵期間中の分離水量は温度上昇が盛んな初期に多く、時間経過と共に減少していった。槽内の CO₂ 濃度が過剰になってしまった場合を除き、排気中の CO₂ 濃度の動態によく似た傾向を示した。

ここで、原料の初期含水率が大きく異なるにも関わらず、含水率の低下に大きな差が表れた理由を考える。

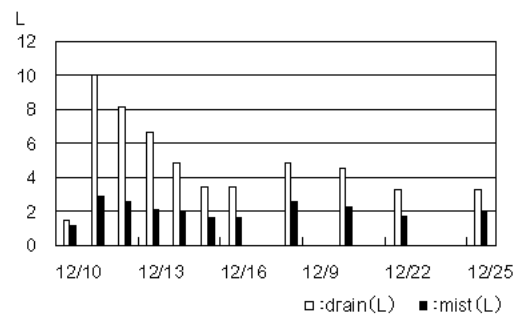


Fig.5 Amount of moisture recovered (RUN3)

前述したように、RUN3~6において含水率の低下は僅かに留まったが、Fig.6によれば、発酵前後の炭素含有率から算出した、炭素分解量が高いほどその傾向は顕著であることがわかる。

$$*炭素分解量 = 原料乾物重量 \times 炭素含有率 - 取り出し品乾物重量 \times 炭素含有率$$

そこで、発酵進行時の次の関係が推察された。

$$蒸散による分離水量 \approx 分解時生成された水量 (ドレン+ミストセパレータ)$$

高い炭素分解率は適切な槽内への送気を行った結果であり、良好な発酵により多量の水が生成されるとすれば、一次発酵における含水率の低下は必ずしも大きくはならず、発酵の良否は他の要素と組み合わせ判断する必要がある。

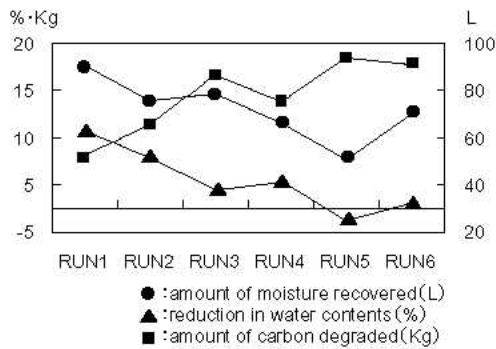


Fig.6 Comparison of moisture recovered, reduction in water contents and amount of carbon degraded

5 運転制御について

5.1 計測情報の役割

前項までにおいて、送気量の適切な制御を行うことが良好な発酵を促すための条件であることを述べてきたが、「送気量の制御」とは、正確には「酸素量の制御」である。つまり、本試験においてCO₂濃度、O₂濃度の計測情報は大きく2つの役割を成したと言える。

- ① 精確な発酵の状況把握
- ② 送気中の適切な酸素量制御

この計測情報が従来までの『温度』という指標と、観測した『分離水量(日変化)』のデータに追加されたことで、より発酵槽内(微生物の活動)が明瞭となり、運転制御因子として位置づけることができた。従来の堆肥化では保証が困難であった『再現性のある堆肥化』に重要であると言えよう。

5.2 仮想プログラム

本試験で採用した各通気方式(吸引送気又は送気のみ)の機構をFig.7に示す。

送気のみ機構は、一般的に「強制通気方式」と分類される施設で行われているものである。また、吸引送気の機構は、強制的に送気されたエアを、生物反応に使用された後に槽内が負圧状態になるように吸引を行い、一部循環して再び槽内へ通気する方式で、臭気対策にも配慮して考案された機構である。

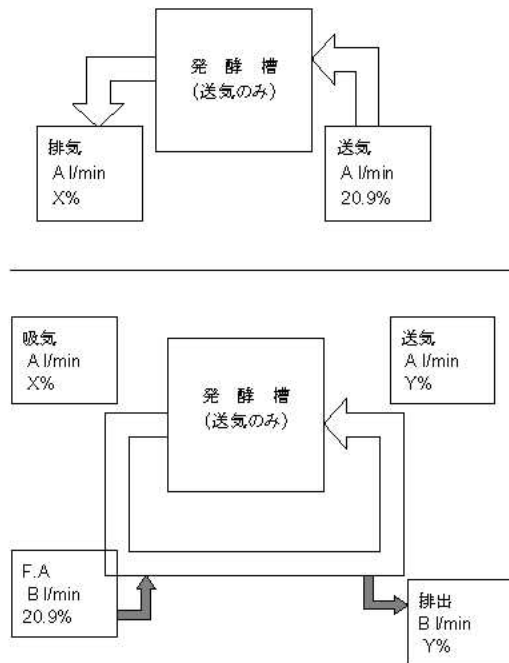


Fig.7 Schematic diagrams of ventilation systems

Fig.7に示したように、送気中のO₂濃度と流量から、槽内へ送られる「酸素量」が計算できる。また、送気中・排気中のCO₂濃度変化と流量から、分解反応の有無と生成された『二酸化炭素量』が計算できる。また、吸引送気においては、吸引中のO₂濃度から送気に適したO₂濃度となるF.A量(新鮮空気量)を計算することで、必要最小限の酸素供給が可能となる。

以上を踏まえ、回分式処理方式・密閉型発酵槽において、熱の損失はなく反応後の排気ガスの捕集が可能とした場合について、手動による送気量制御の試験結果から、計測情報(計測項目:温度、CO₂濃

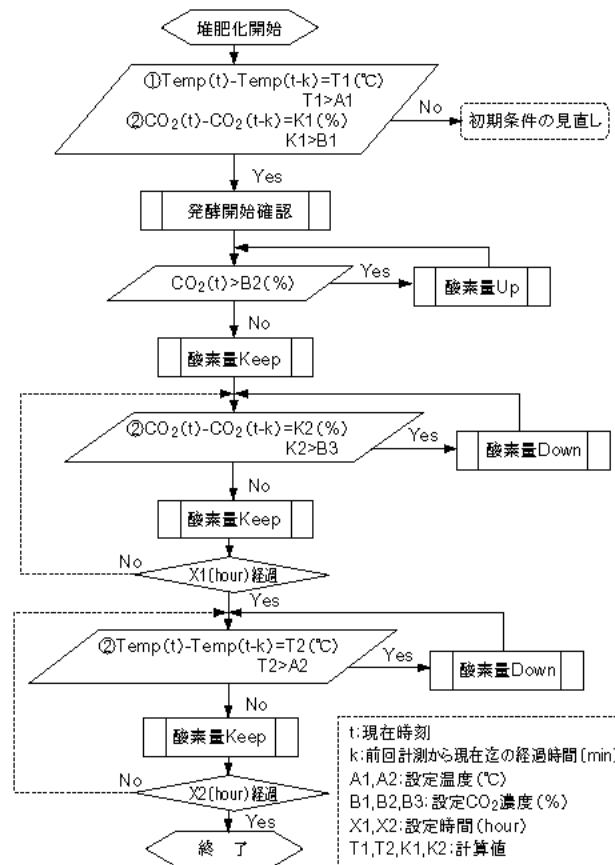


Fig.8 Algorithm for ventilation control (conceptual)

度)を反映した自動運転プログラムについて検討した。想定した運転プログラムは Fig.8 に示す通りである。

6 おわりに

これまで堆肥化については、原料の持つ「熱量」と「含水率の変化」を中心として意見が交わされてきたが、現実には「発酵に伴う水の発生」の存在を軽視されてきたこと等から、発酵に対し理解が充分であったとは言い切れない。今回は温度、CO₂濃度、O₂濃度の計測情報から、主に発酵初期について考察を行ったが、今後は更に送気・排気中の持つ熱量、湿度等を併せて計測し、各通気方式(吸引送気又は送気のみ)の熱収支、水分の動態について研究を進める予定である。また、その結果を基に、各堆肥化工程(一次発酵、二次発酵、後熟等)の位置づけの

究明と、計測情報を反映した「再現性」のある堆肥化プログラムの構築に努めたい。

謝辞

本試験は、(財)畜産環境整備機構より助成を受け実施した。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 井上 祥一郎, 平岡 幸子, 鈴木 隆之, 二田 穂積:「コンポスト製造における計測情報」(第6回環境システム計測制御研究発表会)
- 2) 藤田 賢二:「コンポスト化技術」(技報堂出版株式会社, 1993)

(受付 2001. 12. 27)

(受理 2002. 1. 19)