



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	家畜ふんコンポスト化初期過程の通気条件が材料中の有機物分解に及ぼす影響
Author(s)	土屋, 真一; 清水, 直人; 岩渕, 和則
Citation	農業食料工学会北海道支部会報, 55, 53-57
Issue Date	2015-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/68493
Type	journal article
File Information	55P53-57.pdf



家畜ふんコンポスト化初期過程の通気条件が材料中の有機物分解に及ぼす影響

土屋 真一*¹・清水 直人*²・岩渕 和則*³

要 旨

牛ふんのコンポスト化において効率的な有機物分解が行われる通気条件についての検討を行った。実験には小容積堆肥化実験装置を用いた。実験中一定の通気量で通気を行う連続通気と、途中で通気量を小さくする操作を加えた切り替え通気を、それぞれ通気量を変え複数の条件で行った。堆肥材料の温度、排気中の酸素濃度の計測を行い、実験前後での有機物分解率をコンポスト成熟度の指標とした。連続通気条件と切り替え通気条件の結果を比較すると、切り替え通気実験では実験中の微生物活動の量を示している積算の酸素消費は少なく有機物分解率が高いという結果が見られた。このことから、微生物の分解活動のピークを過ぎた後に通気量を減らすことでエネルギーコストを低減しながら成熟を妨げないコンポスト化が実現できる可能性が示唆された。

[キーワード]：小容積，ラボスケール，切り替え通気，制御，省エネルギー

Effect of the ventilation conditions on the decomposition of the organic matter for compost at early stage of composting

Shinichi TSUCHIYA*¹, Naoto SHIMIZU*², Kazunori IWABUCHI*³

Abstract

This study examined the ventilation conditions at early stage of composting influence decomposition of organic matter for compost. An experimental device for composting was used and the ventilation conditions were adopted both continuous ventilation and on/off switching ventilation. The continuous ventilation that ventilated with a constant quantity during the experiment and the switching ventilation that reduce quantity of ventilation in the middle of the experiment were performed under conditions of plural with different quantity of ventilation. Comparison between the continuous ventilation and the switching ventilation, although integrated oxygen consumption was low level during composting, an organic matter decomposition rate was high by use switching ventilation conditions. The results suggested that the decomposition of organic matter rate progressed while reducing energy was permitted by reducing quantity of ventilation having passed the second peak of early stage of composting.

[Keywords]：Small volume, lab-scale, switching ventilation, control, energy conservation

I 緒 言

廃棄物全体の排出量の約半分は有機性廃棄物が占める。

その有機性廃棄物の処理方法の一つにコンポスト化がある。コンポスト化とは好気性微生物の働きによる有機物分解反応を利用した処理方法で、家畜排せつ物や食品廃

* 1 北海道大学大学院農学院 (〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目) Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita 9, Nishi 9, kitaku, Sapporo, Hokkaido 060-8589, Japan

* 2 北海道大学大学院農学研究院 (〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目, 011-706-3848, shimizu@bpe.agr.hokudai.ac.jp) Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita 9, Nishi 9, kitaku, Sapporo, Hokkaido 060-8589, Japan, shimizu@bpe.agr.hokudai.ac.jp

* 3 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター (〒060-0811 札幌市北区北11条西10丁目) Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, Kita 11, Nishi 10, kitaku, Sapporo, Hokkaido 060-8589, Japan

棄物などのコンポスト化材料が含有する易分解性有機物が分解され安定した状態となり、農地に還元したときの害がなくなる。さらに分解反応に伴って発生する反応熱によって病原菌や寄生虫の卵、雑草種子などが死滅し、同時に乾燥し取り扱いが容易になる。処理が完了したものをコンポスト・堆肥などといい、養分を供給する肥料また土壌を農作物育成に適した状態に改善する土壌改良材として農業利用される。コンポスト化は持続的な農業生産のための土作りと廃棄物処理の両方に対し、ある程度の効果を上げ得る再資源化手段の一つであり、大量に発生する家畜排せつ物などのバイオマス資源の循環利用に大きな役割を持つ方法である。

コンポスト化は好気的な有機物分解をベースとした反応であり、好気環境を維持するため通気あるいは切り返しが必要である。強制通気により満遍なく空気を供給することは、材料を堆積して時々切り返しを行う場合よりも分解効率が良く、また悪臭の発生も軽微なことが確かめられ、その効果が認知されている。しかしながら、必要十分な通気量は必ずしも明確にはなっておらず、過剰な通気を行っているケースが少なくないことが報告されている。その結果、過剰な水分蒸発が起こってエネルギーの損失を招き、微生物が活発になる温度帯と言われる60℃付近よりも材料温度が下がり分解効率の低下につながることに加え、電気代の高騰にもなる。そこで本研究では省エネルギーで安定的、効率的なコンポスト化を行うための通気条件を明らかにすることを目標に、連続通気の量と切り替え通気がコンポスト化過程における材料中の有機物分解率に及ぼす影響を調べた。

Ⅱ 方 法

1. 試料

試料として成牛の新鮮なふんを採取し使用した。試料は風乾により水分を約60 [%w.b.] に調整してから用いた。十分な量の牛ふんを調整し、一度の実験で用いる量に小分けし急速冷凍保存した。実験前には牛ふん中の微生物を活性化させるため、試験開始前に28℃に設定したインキュベータ内で約24時間保持し、解凍・キュアリングを行った。

2. 実験方法

有機分解分析装置（原田電気（株））および極細計測温抵抗体（R040 株式会社チノ）を用いて実験を行った。装置の概略図を図1に示す。

まず初期状態をほぼ均質にした供試材料をリアクタに投入した。その際、なるべく均等に均すようにした。材料質量は試験前後で計測した。調整した供試材料の一部を取り出し、熱風乾燥機（LC-222 エスベック株式会社）を使用し、水分を3点計測して平均を求めた、乾燥させた材料を用い、マッフル炉（田中科学機器製作株式会社）を使用し、灰分を6点計測して平均を求めた。ま

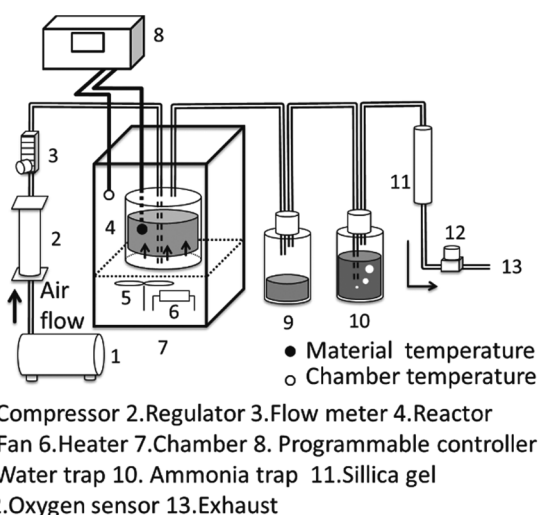


図1 小容積コンポスト化実験装置概略図

た試験終了後にも同様の方法で水分と灰分を求めた。

有機分解分析装置は反応槽内部の試料温度にチャンバーの温度を約0.3℃低い温度で追従させ反応槽壁からの伝導熱損失を防ぐことで反応槽が断熱構造となっており、かつコンポスト材料を堆積した場合の内部の環境を再現している。

通気はコンプレッサから送られた空気をレギュレータで整流し、通気量を流量計で自由に調節できるようになっている。材料質量、水分、揮発性有機物率から有機物量を求めそれをもとに通気量を設定した。通気量は流量計で調節した後、石けん膜流量計によって微調整した。空気はリアクタ底面から入気し材料を通り抜け上部から排気される。リアクタから排気された空気を凝縮した水分を取り除くウォータートラップ、 H_3BO_3 溶液によるアンモニアトラップ、シリカゲルを通し、酸素濃度の測定に不要な水分とアンモニアを取り除く。そして酸素センサにより酸素濃度の測定を行った。

試験中、温度と酸素濃度は3分間隔で記録した。

3. 通気条件

材料水分60 [%w.b.] のコンポスト化初期過程の通気量について0.3~1.0 [L/min · kg-DM] の範囲で温度の上昇が起こりやすく、1.0 [L/min · kg-DM] 付近で最も有機物分解が進むとされている（木村, 2009）。牛ふんの有機物率は約85 [%d.b.] なので、有機物質量あたりで表すと1.0 [L/min · kg-DM] は約1.18 [L/min · kg-VM] となる。

それらを踏まえ、通気条件は以下のように設定した。

- (1) 条件A：連続通気 120時間0.4 [L/min · kg-VM]
- (2) 条件B：連続通気 120時間1.0 [L/min · kg-VM]
- (3) 条件C：切り替え通気 48時間1.0 [L/min · kg-VM] 72時間0.4 [L/min · kg-VM]
- (4) 条件D：切り替え通気 72時間1.0 [L/min · kg-VM]

VM] 48時間0.4 [L/min・kg-VM]

また、本研究ではコンポスト化の初期過程について扱うため、多くの連続好通気条件において温度の低下が確認された120時間を初期過程とし、試験時間は120時間とした。

4. 評価項目

(1) 温度

温度は反応の段階や原因を見極めるための最も分かりやすい指標の一つである。

発酵温度が高いことは、その時まで反応が順調に進んできたことを示す。しかし、微生物には増殖に最適な温度域が存在し、一般には、温度が60℃を超えると反応速度が低下する（藤田，1993）。

(2) 酸素濃度

コンポスト化装置から排出された空気の酸素濃度を測定することで、リアクタ内の酸素需給の動向が分かり、また後述の酸素消費速度を求めることで微生物の活性状況が分かる。

コンポスト化反応は酸素を消費するので、発酵槽内の酸素濃度が低いことは反応が進行していることを示す。酸素濃度が低くなると反応速度は低下する（藤田，1993）。

(3) 揮発性有機物率

揮発性有機物率（VM）はその物質に含まれる灰分以外の有機物量を表しており、試料をマッフル炉によって高温で加熱し灰分質量を出し、以下の式より求めた。

$$VS = \frac{M_{db} - M_{ash}}{M_{db}}$$

VS : 揮発性有機物率 [%d.b.]

M_{ash} : 灰分質量 [g]

(4) 酸素消費速度

酸素消費速度はコンポスト化反応に伴って材料単位質量あたり単位時間に消費する酸素量である（藤田，1993）。

以下の式より求めた。

$$R_{O_2} = \frac{f}{M_{VM}} (C_{AO_2} - C_{O_2})$$

R_{O_2} : 酸素消費速度 [g/h・kg-VM]

f : 通気量 [m³/h]

M_{VM} : 初期有機物量 [kg-VM]

C_{AO_2} : 空气中酸素濃度 [g/m³]

C_{O_2} : 酸素濃度 [g/m³]

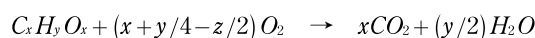
試験途中に通気量を切り替える場合、切り替えた時点で通気量 f が瞬間的に変化し、上式で求める酸素消費速度は連続的に変化しない。これは供給する通気量の切り替えを行った直後は、リアクタ内には通気量を切り替える前に供給された酸素が残っており、切り替え前と切

り替え後の酸素が共存している間上式が当てはまらないためである。本研究の通気量切り替え実験では通気量切り替え時点の酸素消費速度と、切り替え後に酸素消費速度がピークになった時点の2点で線形補間を行うことで酸素消費速度を連続的に示した。

(5) 有機物分解率

コンポスト化過程では有機物の分解に伴って材料質量が減少していく。したがって、質量変化を把握すればコンポスト化反応の進行状況が分かる（藤田，1993）。

コンポスト化初期過程においては以下の反応が支配的に起こり、材料中の揮発性有機物率を低下させる（木村，2009）。



この反応は生物的酸化とも呼ばれ、呼吸作用に伴う酸化反応であり、コンポスト化においては材料表面に存在する全ての好気性動植物が糖類を始めとする易分解性の炭水化物を消費して生活エネルギーを得る過程である。材料温度の上昇に寄与するので、コンポスト化過程において最も重要なものである。

試験前後の揮発性有機物率から以下の式により有機物の減少量を表す分解率を求めた。

$$r_{VM} = 1 - \frac{VS}{Ash} / \frac{VS_0}{Ash_0}$$

r_{VM} : 有機物分解率 [%]

VS_0 : 初期揮発性有機物率 [%d.b.]

VS : 試験後揮発性有機物率 [%d.b.]

Ash_0 : 初期灰分率 [%d.b.]

Ash : 試験後灰分率 [%d.b.]

Ⅲ 結果と考察

図2に家畜ふんコンポスト化過程の温度変化を示す。材料温度の経時変化をみると連続通気では通気量の小さ

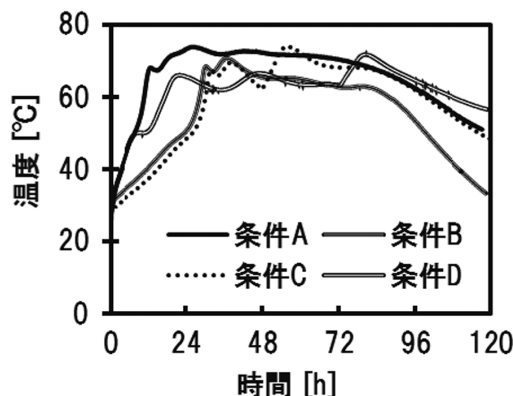


図2 材料温度の経時変化の一例

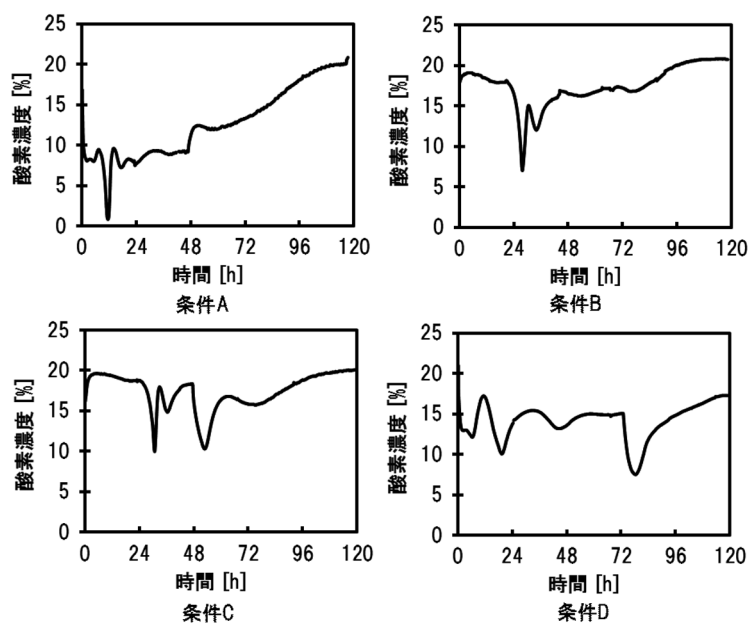


図3 酸素濃度の経時変化の一例

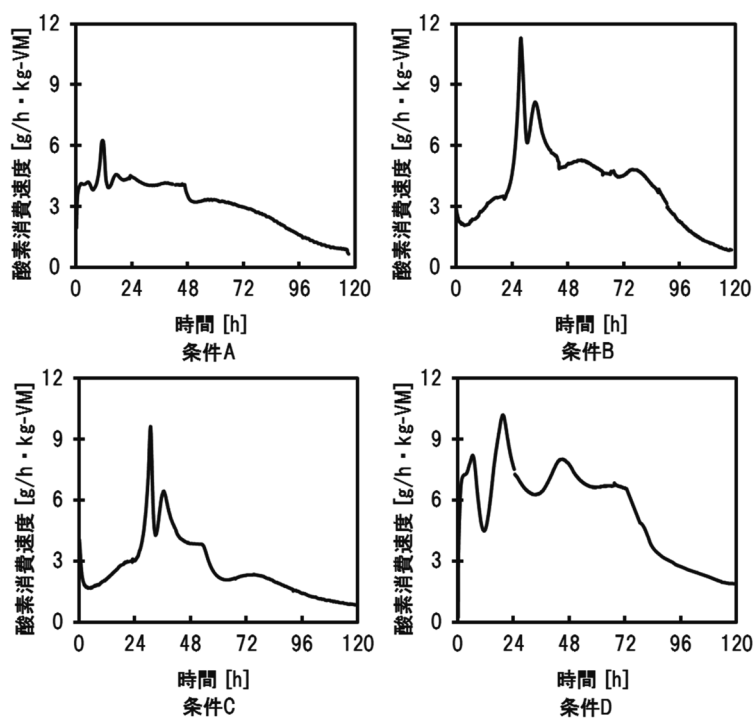


図4 酸素消費速度の経時変化の一例

い条件のほうがコンポスト化による温度上昇は速く、到達温度は高く、そして温度の低下は遅かった（条件A）。切り替え通気試験（条件C・D）について、 $1.0 \text{ [L/min} \cdot \text{kg-VM]}$ から $0.4 \text{ [L/min} \cdot \text{kg-VM]}$ に低く切り替えたところ、まだ反応が活発であったため、通気による排熱が小さくなったことで操作後に温度上昇が見られた。

図3に酸素濃度の経時変化を示す。供給酸素濃度が $3.8 \text{ [\%vol.]}$ 以下になると酸素消費効率は極度に低下する（岩淵ほか, 1996）が、本実験において条件Aでは反

応のピーク時に酸素濃度の極度な低下が見られ、反応のピークで酸素の欠乏が生じ、有機物分解率の低下が引き起こされたと考えられる。切り替え通気2条件は切り替え後の活性時でも酸素が欠乏するほど低下するまでには至らなかった。

酸素濃度から求めた酸素消費速度の経時変化を図4に示す。通気量の大きい条件（条件B）ほど酸素消費が多くなった。切り替え通気（条件C・D）では酸素消費のピークが切り替え前の好通気条件（ $1.0 \text{ [L/min} \cdot \text{kg-}$

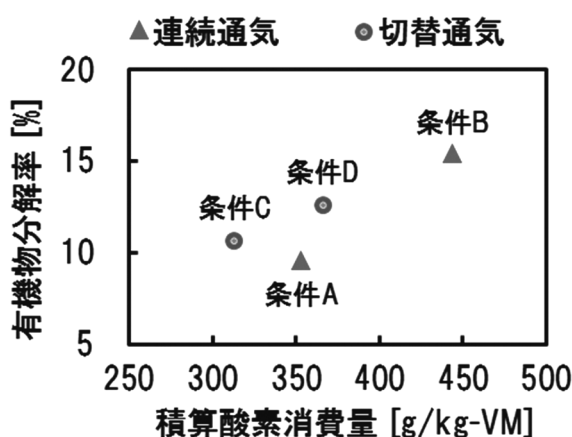


図5 積算酸素消費量と有機物分解率との関係

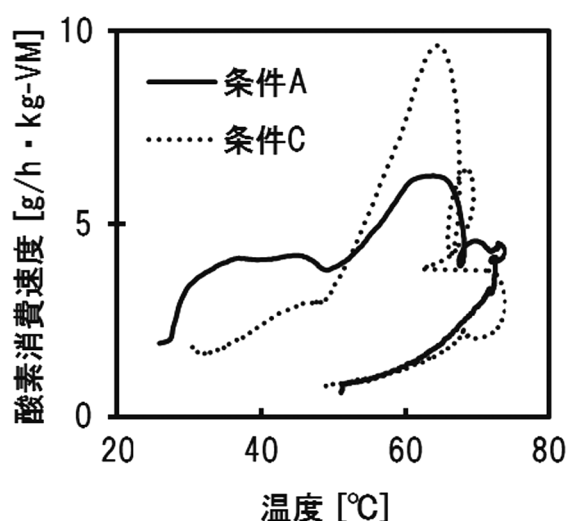


図6 温度と酸素消費速度との関係

VM])で存在し、条件Bと同じく条件Aよりもピーク時の酸素消費が多い。条件Cで48時間後、条件Dで72時間後に通気量を切り替え、酸素濃度が低下している期間は、供給する酸素に対して消費する酸素の割合が連続通気の時よりも高くなり、通気に投入したエネルギーが微生物活動に伴う酸素消費に効率的に結びついていると言える。

通常、酸素消費速度が高いとき微生物の分解反応は活発である傾向がある。酸素消費速度を積分し試験中の積算の酸素消費量を求めた。また、有機物分解率はコンポスト化の進行度の指標である。積算酸素消費量と有機物分解率との関係を図5に示す。条件Bはどちらに関しても最も高い数値を示した。条件Aと条件Cをその2つの指標で比較すると、酸素消費量は条件Aのほうが大きい、有機物分解率は同程度もしくは条件Cのほうが高いという結果となった。

条件A、条件Cについて温度と酸素消費速度の関係を図6に示す。条件Aに比べ条件Cの酸素消費は中温時には少なく、60℃付近では多かった。試験前後での有

機物分解率は条件Cの結果が条件Aよりも高かったことから、分解のピーク時に、コンポスト化材料中に微生物の活動に必要な酸素が十分にあり制限されることなく消費され、効率のよい有機物の分解がもたらされたと考えられる。

IV 摘 要

連続的に通気を行うことが初期過程では最もコンポスト化を進行させるという結果であったが、通気量の切り替え操作によって連続通気と比較して酸素消費量が少なく有機物分解率は高いという結果も得られた。その2つの条件は材料温度と酸素消費速度の係に明らかな違いが見られた。その違いに着目し、酸素が消費される際の材料温度によるコンポスト化への影響について明確にすることによって更なる議論の発展が期待できると考える。また、本研究によって、試験開始時点では通気量を小さくして温度上昇を速める、分解反応が活発なときは通気量を大きくし反応を促す、反応のピークを過ぎた後は通気量を小さくし必要酸素を超える通気とそれによる温度低下を抑制するなど、堆肥化反応の状態に合わせて通気制御を行い、エネルギーコストを低減しながら成熟を妨げないコンポスト化を実現できる可能性が示唆された。しかし、コンポスト化反応は微生物による反応であり様々な要因が複雑に絡み合っているため、一般的にコンポスト化に適切である通気量を明らかにするためには実用規模での実験も含め、より一層のデータの蓄積が必要である。

引用文献

- 藤田賢二, 1993. コンポスト化技術 廃棄物有効利用のテクノロジー, 技報堂
- 木村俊範監修, 2009. コンポスト化技術による資源循環の実現, シーエムシー
- 岩淵和則, 木村俊範, 1994. 家畜糞の好気性分解反応特性第1報, 農業機械学会誌, 56(2), 67-74
- 岩淵和則, 中野芳雄, 1996. 生物系廃棄物のコンポスト化反応に及ぼす供給ガス酸素濃度の影響, 農業機械学会誌, 58, 399-400