

## 堆肥化施設に係る臭気の発生抑制に関する調査(第4報)

化学部

神野 憲一 岸 秀憲 小西 智之<sup>1</sup> 平野 真弘<sup>2</sup> 金田 治彦<sup>3</sup>  
高松 香織<sup>4</sup> 大森 牧子<sup>5</sup> 小池 静司

(<sup>1</sup>現県東環境森林事務所、<sup>2</sup>現保健環境センター大気環境部、  
<sup>3</sup>現工業振興課、<sup>4</sup>現下水道管理事務所、<sup>5</sup>現小山環境管理事務所)

### 要旨

廃棄物処理施設の堆肥化施設について、審査・指導等の参考となる基礎資料作成のため、臭気物質の発生要因等に関する調査を実施してきた。堆肥化施設で発生する臭気から、アンモニア、脂肪酸、メルカプタン類、硫化水素等が検出されたが、嗅覚閾値が低い脂肪酸等が悪臭の原因物質と考えられる。各施設の堆肥化及び臭気発生の状況を調査するとともに、施設管理者へのヒアリングにより、施設構造や堆肥化条件等を確認し、臭気の発生因子を検討した。調査対象とした堆肥化施設は全て好氣的分解を利用した施設であるが、臭気発生抑制のポイントは好気状態(条件)で堆肥化することであり、原料の受入、保管、混合の各段階における留意事項を検討した。

**キーワード:** 堆肥化施設、臭気、脂肪酸、アンモニア、メルカプタン類、硫化水素、好気状態、嫌気状態

### 1 はじめに

廃棄物処理施設の堆肥化施設では、稼働後、悪臭防止対策が設計どおりに十分な効果を発揮しきれず、悪臭苦情を引き起こしてしまう事例がある。このような場合、事業者は、更なる設備投資等により対策を講じることとなるが、施設設置後の設備追加は、改善までに時間がかかるだけでなく、コスト面における事業者の負担も大きい。このため、堆肥化施設の悪臭防止対策設備は、堆肥化施設から発生する悪臭物質の種類及び量をあらかじめ明確にした上で、設計することが重要であり、悪臭そのものの発生を抑えることも肝要である。一方、行政側には指導にあたり、臭気発生抑制等に係る知見が求められる。そこで、堆肥化施設に対する審査・指導等の参考となる基礎資料を作成するため、臭気物質の発生要因等について調査することとした。

これまで、文献などの書類調査や産業廃棄物処分業許可を有する堆肥化施設を対象とした実地調査を行った<sup>1)~3)</sup>。また、実験室レベルの小規模試験を補完的に行い、堆肥化と臭気発生の状況についてのデータを収集した。過去4年間の結果をまとめるとともに、臭気発生を抑制する方法を検討したので報告する。

### 2 調査方法

#### 2.1 実地調査

##### 2.1.1 調査対象施設の概要

調査対象施設の概要は既報<sup>1)~3)</sup>のとおりである。堆肥化施設13施設は、いずれも好氣的分解を処理に利用しており、内訳は通気型堆肥舎(床に送風設備あり)6施設、堆肥舎(床に送風設備なし)1施設、スクープ式(床に送風設備あり)6施設である。全施設で、動植物性残さを受け

入れている。

##### 2.1.2 調査項目

調査項目と分析方法は、既報<sup>1)~3)</sup>のとおりであり、原料保管施設、原料混合直後、堆肥化過程の堆積物について、現地測定及び試料採取を行った。

##### 2.1.3 臭気物質のGC/MSによる定性分析

各施設における、原料混合直後及び堆肥化の過程で発生する臭気物質について、既報<sup>1)</sup>に従い、固相マイクロ抽出(Solid Phase Microextraction: SPME)法を用い、臭い嗅ぎ装置(ODP)付きGC/MSにより定性分析した。

##### 2.1.4 臭気中の脂肪酸定量法

既報<sup>2)</sup>に従い、堆積物試料2gを40mLバイアル瓶に入れ、60°Cで加温し、ヘッドスペース中に拡散させた臭気を、MonoTrap DCC18に1時間吸着させた。MonoTrap DCC18をバイアル瓶から取り出し、10mL遠心沈殿管に入れ、アセトン1mLを加え、10分間超音波抽出した。このアセトン溶液に、内部標準物質(2-エチル酪酸)2μgを添加後、GC/MSで測定した。

### 2.2 臭気の発生因子に関する実験

実地調査において臭気の発生因子と考えられた、混合物の水分(比重)及び原料保管条件の臭気発生への影響を確認するため、卓上の堆肥化実験を行った。

#### 2.2.1 実験装置

実験槽には、容積約1Lのガラス容器(AGCテクノグラス製)を用いた。実験槽は、35°C(保管条件の実験では25°C)に設定した恒温水槽に設置した。

#### 2.2.2 堆肥化原料の調製

実地調査において、全施設で動植物性残さが処理されていたことから、野菜くずとおからを、そして水分及びC/N比を調整するため米ぬかを用いた。これらを混合したものを原料とし、これに、副資材として、施設Aで採

取した堆積物試料<sup>2)</sup>を、重量比1:1となるよう加え、混合した。この混合物に、水分55~70%となるよう水を添加・調整し、堆肥化原料とした(水分調整に伴い、比重は0.35~0.55)。

### 2.2.3 実験条件

- (1) 好気条件：エアポンプから送り出された空気を流量計で0.5L/minに調整し、反応槽上部から供給した。1日1回切返しを行った。
- (2) 嫌気条件→好気条件：初め容器を密閉し、丸3日嫌気状態にした。3日後の測定後、空気供給量を0.5L/minとし、1日1回切返しを行い、好気条件に転換した。
- (3) 保管条件の比較：実地調査において、原料と副資材や戻し堆肥と混ぜて保管する事例があったことから、臭気の発生抑制の効果を確かめることを目的とした。2.2.2のとおり調製した動植物性残さを原料として、以下に示す①~④の条件でガラス容器に保管し、発生する臭気を測定した。

なお、この実験においては、副資材はバーク、戻し堆肥は施設A(実地調査対象の通気型堆肥舎1施設)で採取した堆積物試料<sup>2)</sup>を用いた。実験槽は栓をしないで通気性を保ち、25℃に設定した恒温水槽に設置した。次に、保管開始9日後以降、恒温水槽を35℃に設定し、好気条件で堆肥化した(空気供給量0.5L/min、1日1回切返し)。

- ①原料のみ、②原料+副資材(1:1)、
- ③原料+戻し堆肥(1:1)、
- ④原料+副資材+戻し堆肥(1:0.5:0.5)

### 2.2.4 調査項目

複合臭強度は、においセンサーにより毎日測定した。アンモニア、メルカプタン類、硫化水素及び脂肪酸は、検知管法により毎日測定した。また、堆肥化過程における混合堆積物の内部温度は、データロガー温度計により測定し、5分毎に記録した。

## 3 結果及び考察

### 3.1 実地調査

既報<sup>3)</sup>のとおり、実地調査の結果を、堆積方式(通気型堆肥舎及び堆肥舎)と攪拌方式(スクープ式)に分類し、臭気の発生因子について検討した。

#### 3.1.1 臭気物質のGC/MSによる定性分析

各施設の堆積物から発生する臭気について、GC/MSによる定性分析の結果を表1に示す。臭い嗅ぎ装置でおいを感じた臭気物質で、検出頻度の高い順に、iso-吉草酸等の脂肪酸、p-クレゾール、ジメチルトリスルフィドであった。その他、インドールやイミダゾール等が検出された。これらの臭気物質の内、脂肪酸やp-クレゾールは動物糞尿にも含まれている<sup>4)</sup>が、好気状態で堆肥化が

進行すると分解し、濃度が低下する<sup>4)</sup>。しかし、嫌気状態で堆肥化すると、原料に含まれているよりも高濃度の脂肪酸等が生成する<sup>4)</sup>。実地調査では、各施設で堆肥化の進行とともに脂肪酸が低下したことを確認した<sup>2)3)</sup>。

脂肪酸は、嗅覚閾値が非常に低く<sup>6)</sup>、低濃度でも悪臭の原因になると考えられている。また、堆肥中の脂肪酸はコマツナの発芽を抑制することが報告されている<sup>4)</sup>。好気状態で堆肥化は脂肪酸等の発生抑制に効果があり、悪臭の発生抑制と作物に生育障害を起さない堆肥づくりにつながると考えられる。

#### 3.1.2 堆積方式

においセンサー測定値と脂肪酸濃度が高い施設と低い施設に着目し、原料(廃棄物)受入及び保管状況、原料混合時の状況を比較した結果、臭気の発生を抑制するポイントと考えられた事項を以下に示す。

##### (1) 原料受入と保管

- 原料の大きさ(細かさ)に留意する。原料と微生物の接触面積が大きい程堆肥化による分解が進むため、野菜くず等は機械やショベルローダーで細かくする。
- 原料の水分を切る。
- 保管期間はできるだけ短くする。
- 保管する場合は、戻し堆肥と混ぜて保管する。

##### (2) 原料混合時

- 適切な水分(約60%)及び比重(約0.4)になるよう、原料の水分を考慮し、副資材や戻し堆肥の添加量を調整する。

また、原料の保管、混合時及び堆肥化の条件を説明変数x、臭気物質濃度平均値やpH平均値等を目的変数yとして、エクセル統計により重回帰分析を行った結果、脂肪酸濃度平均値と、堆積高さ及び保管期間、pH平均値と保管期間の間で、有意と判定された。堆積高さが高い程、嫌気状態の部分が多くなり、脂肪酸濃度の上昇につながると考えられた。

#### 3.1.3 攪拌方式

においセンサー測定値が高い施設と低い施設に着目し、原料(廃棄物)受入及び保管状況、原料混合時の状況を比較した結果、臭気の発生を抑制するポイントと考えられた事項を以下に示す。

##### ○ 原料受入と保管

- 原料はローダーで混ぜた時に崩れやすくする。
- 原料の水分を切る。
- 保管期間はできるだけ短くする。
- 保管する場合は、副資材・戻し堆肥と混ぜて保管する。

原料混合時において、堆積方式のような、水分と比重の影響は見られなかった。この原因として、攪拌方式の堆積高さが堆積方式より低く、切り返し頻度も堆積方式より多いため、好気状態を維持しやすいことが考えられ

た。なお、堆積方式と同様、エクセル統計により重回帰分析を行ったが、有意と判定された回帰式は得られなかった。

### 3.2 臭気の発生因子に関する実験

#### 3.2.1 好気条件

臭気発生状況を図1に示す。においセンサー測定値は、4日後まで堆肥化の進行に伴い減少し、その後若干増加した。アンモニアが発生し、最高7~8ppmまで上昇した。メルカプタン類、脂肪酸及び硫化水素は、不検出であった。pHと温度の変化を図2に示す。pHは堆肥化の進行に伴い上昇傾向を示したが、これはアンモニアによる影響と考えられた。温度は、堆肥化開始から約12時間後に約41℃まで上昇し、その後低下した。この条件では水分(比重)による相違は見られなかった。その原因として、実験槽が小さいため、水分(比重)が高い条件でも好気状態が維持されたことが考えられた。

#### 3.2.2 嫌気条件→好気条件

臭気発生状況を図3に示す。嫌気条件を開始した翌日には、においセンサー測定値は、上限値2,000を超過した。また、メルカプタン類、脂肪酸及び硫化水素が検出され、水分(比重)が高いほど、その濃度が高かった。なお、アンモニアは不検出であった。

混合から3日後の測定後、空気を供給し好気条件にしたところ、その翌日(計4日後)にはメルカプタン類、脂肪酸及び硫化水素は不検出となり、代わってアンモニアが発生した。

pHと温度の変化を図4に示す。pHについて、嫌気条件(混合から3日間)では、いずれの条件においても混合時と比べて低下し、水分(比重)が高い程、pHは低かった。これは、水分(比重)が高い程、脂肪酸が高濃度で発生しており、その影響と考えられた。好気条件に転換したところ、pHは上昇したが、これはアンモニアによる影響と考えられた。温度について、嫌気条件(混合から3日間)では、ほぼ一定であったが、好気条件に転換した後、上昇した。

以上のことから、嫌気条件では水分(比重)が高いほど、メルカプタン類、脂肪酸及び硫化水素の濃度が高くなったことから、水分(比重)はこれらの悪臭物質の発生因子であると考えられた。また、十分な空気を適切に供給すれば、嫌気状態が解消され、メルカプタン類等の悪臭物質の発生を抑制できることが示唆された。

#### 3.2.3 保管条件の比較

臭気発生状況を図5に示す。においセンサー測定値は、①(原料のみ) > ②(原料+バーク) > ③(原料+戻し堆肥) ≒ ④(原料+バーク+戻し堆肥)であった。メルカプタン類と硫化水素は、①(原料のみ保管) > ②(原料+バーク)であり、③(原料+戻し堆肥)と④(原料+バーク+戻し堆肥)は不検出であった。脂肪酸は、いずれの条件でも不検出であった。アンモニアは、保管中は不検出であったが、好気条件にしたところ、いずれの条件でも発生した。

①(原料のみ)について、保管開始9日後に確認したところ、周囲がゼラチン状の膜で覆われており、これを薬さじでかき混ぜたところ、メルカプタン類が0.25ppm検出された。このことから、原料内部が嫌気状態になっていたと考えられる。2日後以降、複合臭強度が減少し、メルカプタン類も硫化水素も検出されなかったが、原料がゼラチン状の膜に覆われ、内部で発生した臭気物質が外部に漏れなかったことが原因と考えられた。

pHと温度の変化を図6に示す。実験期間中、pHは上昇し、温度は上昇と下降を繰り返したことから、全体的には保管中も好氣的分解が緩やかに進んでいたと考えられる。好気条件転換後には、温度が大きく上昇した。

以上をまとめると、原料をバーク又は戻し堆肥と混合して保管することで、臭気の発生抑制に効果があった。戻し堆肥と混ぜて保管することで最も臭気が抑制されていたが、これは戻し堆肥中の好気性微生物の効果によるものと考えられた。ただし、内部的には嫌気状態の発生も考えられることから、極力保管を行わず堆肥化を開始することが重要と考えられた。

## 4 まとめ

好氣的分解を利用した施設における臭気発生抑制のポイントは、好気状態(条件)で堆肥化することである。嫌気状態で堆肥化すると、脂肪酸が分解されずに堆肥に残存してしまい、悪臭が発生し、作物の生育障害を起こすおそれがある。好気状態での堆肥化は脂肪酸等の発生抑制に効果があり、悪臭の発生抑制と作物に生育障害を起こさない堆肥づくりにつながる。原料の受入、保管、混合の各段階において、以下について特に留意することが重要である。これまでに得た知見を活用し、行政資料を現在作成中である。

#### (1) 原料の受入

- 原料の大きさ(細かさ)に留意する。原料と微生物の接触面積が大きい程堆肥化による分解が進むため、野菜くず等は機械やショベルローダーで細かくする。
- 原料の水分を切る。

#### (2) 原料の保管

- 原料は受入後、速やかに堆肥化を開始する。
- やむを得ず保管する場合は、副資材(バーク等)又は戻し堆肥と混ぜて保管する。

#### (3) 原料混合時

- 適切な水分(約60%)及び比重(約0.4)になるよう、原料の水分を考慮し、副資材や戻し堆肥の添加量を調整する。

## 5 謝辞

本調査に際して、助言いただいた栃木県畜産酪農研究センター、助言いただくとともに分析機器使用を快諾い

ただいた栃木県農業環境指導センターに深謝いたします。また、書類調査及び実地調査に協力いただいた各事業者の皆様、廃棄物対策課、各環境森林事務所等に深謝いたします。

6 参考文献

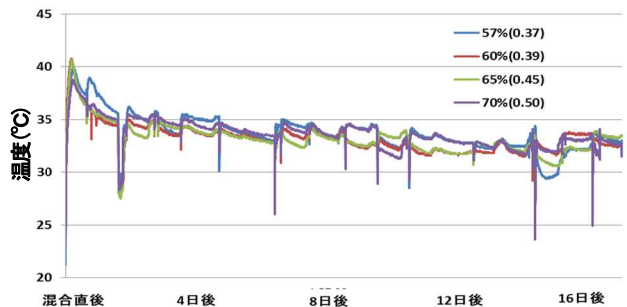
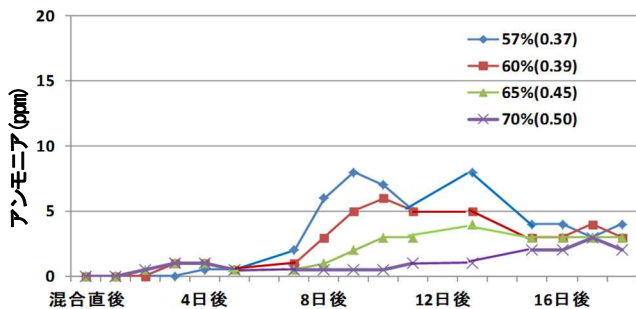
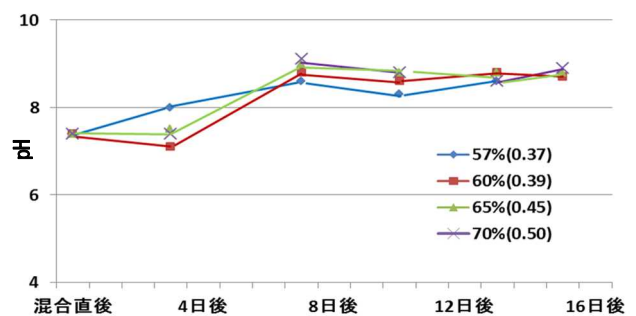
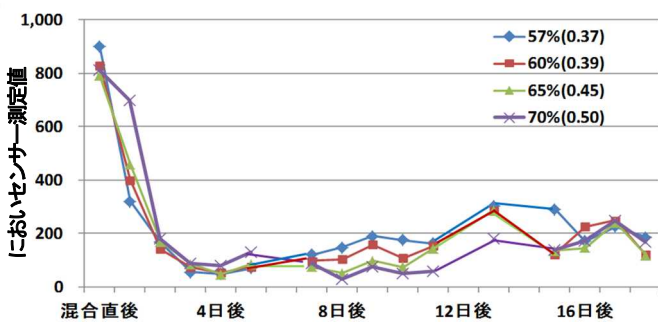
- 1) 高松香織他, 堆肥化施設に係る臭気抑制に関する調査(第1報), 栃木県保健環境センター年報, 21, 72-76, 2016.
- 2) 神野憲一他, 堆肥化施設に係る臭気抑制に関する調査(第2報), 栃木県保健環境センター年報, 22, 67-76, 2017.

- 3) 神野憲一他, 堆肥化施設に係る臭気抑制に関する調査(第3報), 栃木県保健環境センター年報, 23, 81-90, 2018.
- 4) 堆肥化施設設計マニュアル, 社団法人中央畜産会, 1-31, 2011.
- 5) 小山太, 家畜糞堆肥調製時の臭気対策および堆肥の新規機能性に関する研究, 福岡県総合農業試験場特別報告, 38, 4-18, 2012.
- 6) 永田好男他, 三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果, 日本環境衛生センター所報, 17, 77-89, 1990.

表1 臭気物質のGC/MSによる定性分析

	硫黄系		脂肪酸					クレゾール系	その他の物質
	ジメチルスルフィド	n-酪酸	iso-吉草酸	n-吉草酸	ヘキサン酸	ヘプタン酸	n-デカン酸	p-クレゾール	
施設A									
施設B		○	○					○	シクロヘキサンカルボン酸、フェニルエチルアルコール、メチルイミノ酢酸、1H-インドール-5-メチル-2-フェニル、トキシフェニルオキシソ
施設F		○	○					○	2-メチル-1H-インドール、5-ニコチアゾール、α-Maaline
施設G	○		○					○	3-メチルインドール
施設H	○							○	
施設J		○	○	○	○			○	
施設K	○		○	○					フェニルエチルアルコール
施設C									味噌臭物質(同定できず)
施設D	○		○					○	
施設E									イミダゾール
施設I	○		○				○	○	4-エチルヘキシル酢酸
施設L	○		○	○	○	○		○	3-メチルインドール、3H-インドール
施設M	○			○	○	○		○	
嗅覚閾値 <sup>6)</sup> (ppm)		0.00019	0.000078	0.000037	0.0006			0.000054	

○: 臭い嗅ぎ装置でにおいを感じ、マススペクトルのライブラリー検索で物質が同定されたもの。



メルカプタン類、脂肪酸及び硫化水素は不検出

図1 臭気発生状況(好気条件)

図2 pHと温度の変化(好気条件)

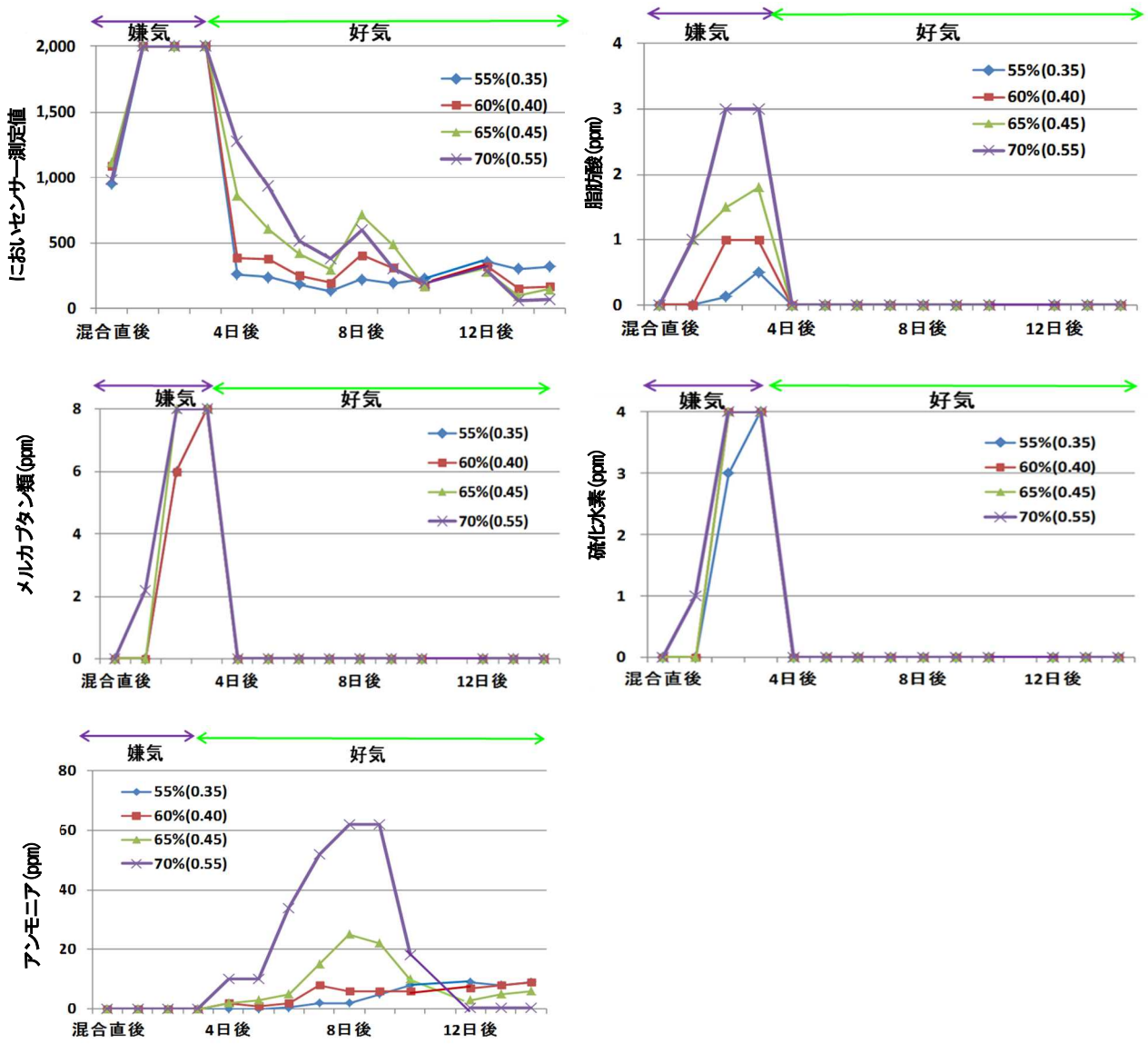


図3 臭気発生状況(嫌気条件→好気条件)

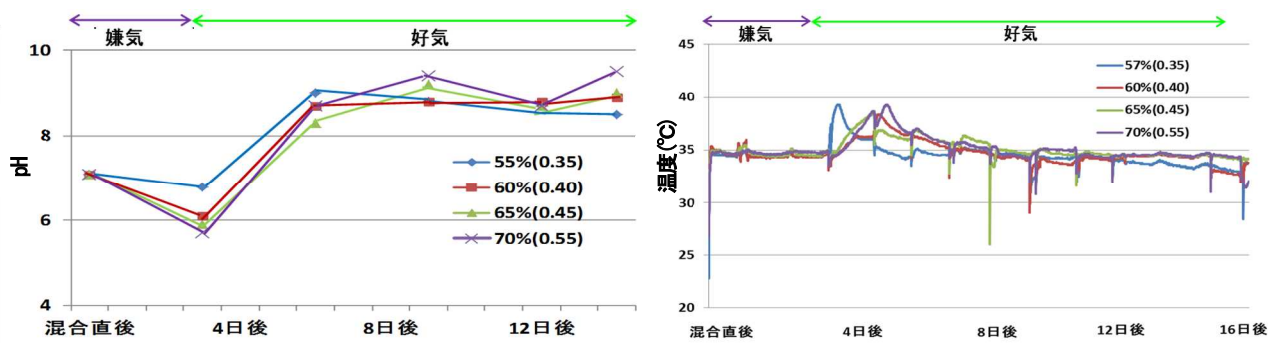


図4 pHと温度の変化(嫌気条件→好気条件)

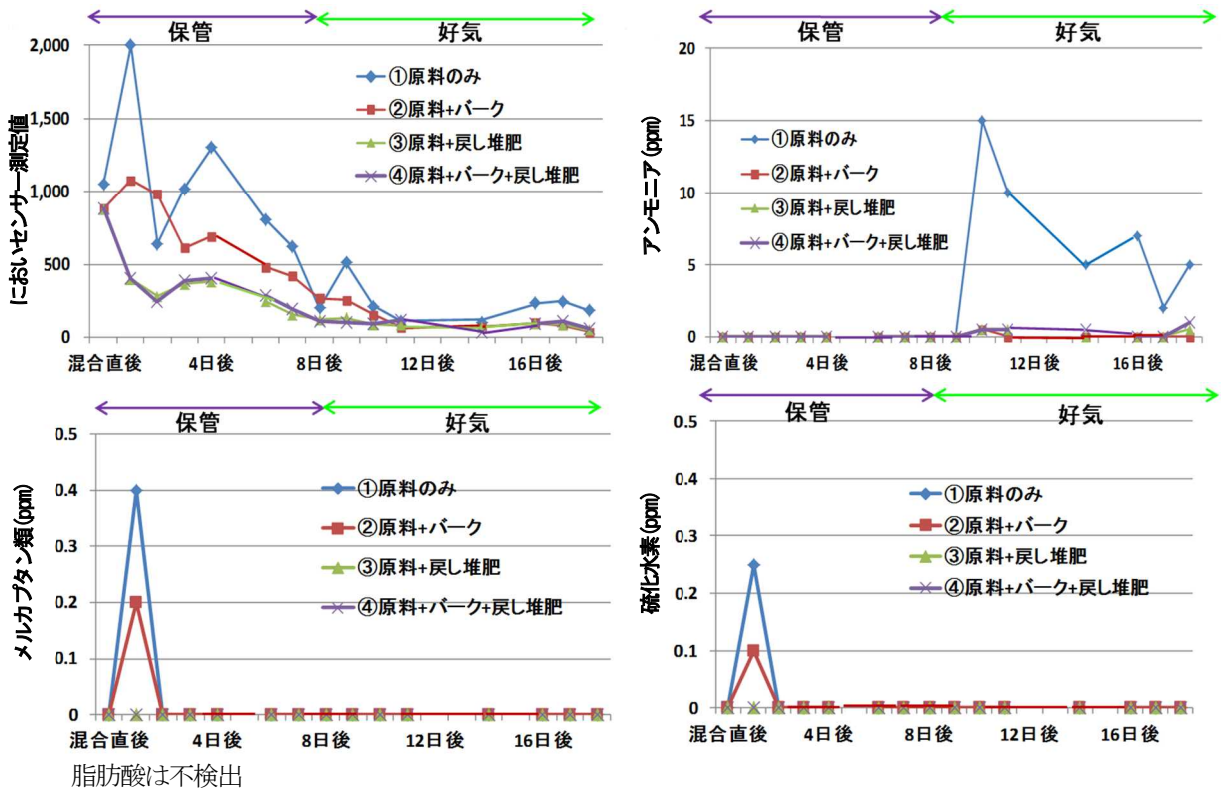


図5 臭気発生の状況(保管条件の比較)

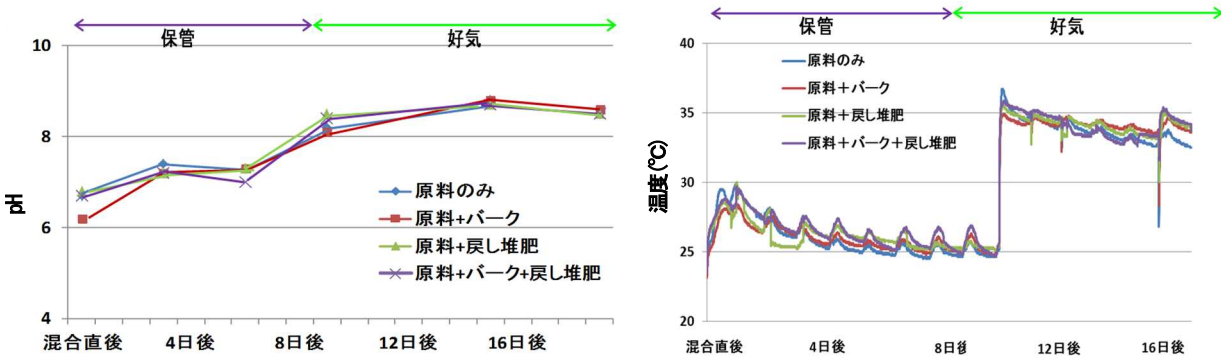


図6 pHと温度の変化(保管条件の比較)