

堆肥化施設に係る臭気の発生抑制に関する調査(第3報)

化学部

神野 憲一 岸 秀憲 小西 智之
平野 真弘 小池 静司

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、さら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る。

本調査は、堆肥化施設における臭気物質の発生要因等について調査し、堆肥化施設に対する審査・指導の参考となる行政資料を作成することを目的とする。

27年度は文献などの書類調査を行い、堆肥化のしくみや設備に係る情報を収集するとともに、実地調査の測定項目選定のための概況調査を実施した¹⁾。28年度は、臭気中の脂肪酸定量法の開発を行うとともに、産業廃棄物処分業許可を有する堆肥化施設10施設への実地調査を行った²⁾。29年度は、産業廃棄物処分業許可を有する堆肥化施設3施設及び飼料製造施設1施設への実地調査を行い、臭気の発生因子について検討を行った。併せて、装置を用いた卓上の堆肥化実験を行ったので、その結果を報告する。

2 調査方法

2.1 実地調査

施設内において、堆肥化及び臭気発生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た。

2.1.1 調査対象施設の概要

調査年月日及び調査対象施設の概要を表1に示す。堆肥化施設3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)1施設、スクープ式(床に送風設備あり)2施設である。飼料製造施設1施設は、嫌氣的分解を処理に利用しているが、好氣的分解を利用する堆肥化施設と比較するため、調査を実施した。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、表2のとおり前報²⁾と同じである。また、前報²⁾同様、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 臭気中の脂肪酸定量法

前報²⁾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

実地調査結果を踏まえ、水分及び比重と臭気発生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

装置の概略図を図1に示す。反応槽には、容積約1Lのガラス製密閉保存容器(AGCテクノグラス製)を用いた。反応槽は、35°Cに設定した恒温水槽に設置した。

2.2.2 実験条件

2.2.2.1 堆肥化原料の調製

実地調査において、動植物性残さが最も多く処理されていたことから、野菜くずとおからを、水分及びC/N比を調整するため米ぬかを用いた。野菜くず、おから、米ぬかを、重量比5:4:1の割合で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を、重量比1:1となるよう加え、混合した。この混合物の水分を、60~75%の範囲で水を添加・調整し、堆肥化原料とした。

2.2.2.2 実験①(好気条件)

好気条件での、臭気発生状況の確認を目的とした。エアポンプから送り出された空気を流量計で1L/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。

2.2.2.3 実験②(嫌気条件→好気条件)

初めに嫌気条件、その後好気条件に変化させた場合の、臭気発生状況の変化の確認を目的とした。初め容器を密閉し、丸1日嫌気状態にした。翌日以降は、空気供給量を1L/minとし、1日1回切返しを行った。

2.2.3 調査項目

発生する臭気について、複合臭強度は、においセンサーで、アンモニア、メルカプタン類、硫化水素は検知管法により、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5分毎に記録した。

3 結果及び考察

3.1 29年度実地調査結果

29年度に調査した堆肥化施設3施設は、いずれも好気的分解を処理に利用した施設であり、処理の主役は好気性微生物である。各施設の堆肥化及び臭気発生状況を図2に示す。堆積物の温度は、施設Mが70℃～80℃であるのに対し、他の2施設が40℃～50℃と施設Mより低い温度で推移していたが、これは、施設構造の違いと外気温の影響と考えられた。pHは、3施設とも約8で推移した。においセンサー測定値は、3施設の中で施設Mが最も高く、最高で330ppmが検出されたアンモニアの影響によると考えられた。以上のとおり、3施設は、アンモニアの発生、高温(概ね50～70℃)という好気的分解の特徴³⁾が見られた。

次に、飼料製造施設である施設Nの発酵及び臭気発生状況を図3に示す。温度は約40℃、pHは約4と概ね一定であった。においセンサー測定値は、発酵に伴い増加した。アンモニア、メルカプタン類、硫化水素は検出されなかったが、酢酸などの脂肪酸が堆肥化施設3施設より高濃度検出された。一般的に、飼料は乳酸発酵により製造⁴⁾されるが、これらは、嫌氣的分解の特徴であり、堆肥化施設3施設で確認された好気的分解の特徴とは大きく異なった。

3.2 臭気の発生因子について

平成28年度及び29年度に調査した堆肥化施設13施設の内訳は、表3のとおり、通気型堆肥舎(床に送風設備あり)6施設、堆肥舎1施設(床に送風設備なし)、スクープ式(床に送風設備あり)6施設である。これらを堆積方式(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。

3.2.1 堆積方式

堆積方式(通気型堆肥舎及び堆肥舎)の堆肥化及び臭気の発生状況を、それぞれ図4及び図5に示す。今回の調査対象施設は、いずれも好気的分解を利用しているが、実際には完全な好気状態を維持することは難しく、堆積物内部には嫌氣的部分が存在する⁵⁾。不十分な通気や切返しにより、嫌氣的分解が優勢となれば、主に、嗅覚閾値が低い脂肪酸やメルカプタン類、硫化水素が発生⁶⁾し、堆積物の温度は好気的分解のように高温にならない⁵⁾。

施設Bは、2週目以降は概ね50℃以上で推移したが、pHは約4で推移しており、これは嫌氣的部分で発生した脂肪酸による影響と考えられた。施設Jは、温度50～70℃、アンモニアの最高濃度130ppm、pH7～9を示し、好気的分解の特徴を示した。一方、においセンサー測定値は最高2,000超、脂肪酸濃度は最高1,300ppmと施設Bに次いで

高かったことから、嫌氣的部分の影響があると考えられた。

臭気の発生因子を検討するため、各工程における臭気物質濃度等のそれぞれの平均値を、各施設の代表値として、比較した。においセンサー測定値及び脂肪酸濃度が低い、施設BとJ、においセンサー測定値及び脂肪酸濃度が高い、施設AとKに着目した。

原料(廃棄物)受入及び保管の状況を表4に示す。施設AとKは、受入れる動植物性残さに条件を設け、カット野菜などを受入れていたのに対し、施設BとJは、条件を設けていないため、細断されていない野菜が散見された。また、保管期間は、施設Bは前処理なしで最長1週間保管しており、酸っぱい臭いが感じられた。施設Aも最長1週間の保管があるとしているが、保管する場合は戻し堆肥と混合している。このことから、動植物性残さは、水分を切り、細かい状態とし、一時的に保管する場合でも戻し堆肥と混ぜる等、嫌氣的状態にしないようにすることが重要であると考えられた。次に、原料(廃棄物)混合時の状況を表5に示す。施設BとJの水分及び比重は、施設AとK(水分60%前後、比重約0.4)より高かった。水分及び比重が高いと、通気性が低くなりやすく、嫌氣的部分が大きくなると考えられた。

表6に示すとおり、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平均値等を説明変数yとして、エクセル統計により重回帰分析を行った。その結果、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。堆積高さや保管期間は、嫌氣性に影響する因子と考えられた。

3.2.2 攪拌方式

攪拌方式(スクープ式)の臭気発生状況及び温度等の変化を、それぞれ図6及び図7に示す。臭気の発生因子を検討するため、堆積方式と同様、各工程における臭気物質濃度等のそれぞれの平均値を、各施設の代表値として、比較した。脂肪酸は、堆積方式のように、高濃度の施設はなかった。そこで、においセンサー測定値が高い、施設IとM、においセンサー測定値が低い、施設EとLに着目した。

原料(廃棄物)受入及び保管の状況を表7に示す。施設E、I、Lが、受入れる動植物性残さに水分等の条件を設けていたのに対し、施設Mは、条件を設けていなかった。また、保管期間は、施設Lは戻し堆肥と混合して2日保管であるのに対し、施設Mは前処理なしで2、3日保管しており、腐った玉ねぎのような臭いが感じられた。このことから、動植物性残さは、水分を切ることで、混合時にすぐ崩れる状態とすること、一時的に保管する場合でも副資材・戻し堆肥と混ぜる等、嫌氣状態にならないようにすることが重要であると考えられた。なお、原料(廃棄

物)混合時の状況を表 8 に示す。これらの施設間について、水分や比重等の相違は見られなかった。

なお、堆積方式と同様、原料の保管、混合時及び堆肥化の条件を説明変数 x 、臭気物質や pH 等を説明変数 y として、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。

3.3 臭気の発生因子に関する実験

3.3.1 実験① (好気条件)

臭気発生状況を図 8 に示す。においセンサー測定値は、堆肥化進行に伴い減少した。いずれの条件でもアンモニアが発生し、最高約 50ppm まで上昇した。メルカプタン類、硫化水素、脂肪酸は不検出であった。内部温度は恒温槽とほぼ同じ約 35℃で推移した。これは、通気量が多く、混合物が冷却されたためであると考えられた。

この条件では、臭気発生への水分及び比重の影響は、確認されなかったが、通気量が多かったため、水分及び比重が高い条件でも好気状態が維持されていたと考えられた。

3.3.2 実験② (嫌気条件→好気条件)

臭気発生状況を図 9 に示す。嫌気条件で 1 日後、においセンサー測定値は、大きく上昇した。また、メルカプタン類及び硫化水素が検出され、水分及び比重が高い程、その濃度が高かった。なお、アンモニアは不検出であった。

次に空気を供給し、好気条件にしたところ、その 1 日後(計 2 日後)にはメルカプタン類と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。

以上、嫌気条件では水分及び比重が高い程、メルカプタン類及び硫化水素の濃度が高くなったことから、水分及び比重が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、メルカプタン類などの悪臭物質の発生を抑制できることが示唆された。

4 まとめ

平成 28 年度及び 29 年度に実施した実地調査結果を、堆積方式と攪拌方式に分類し、臭気の発生因子を検討した。

堆積方式の施設について、においセンサー測定値及び脂肪酸濃度が高い施設と低い施設を比較した。原料(廃棄物)受入及び保管について、動植物性残さは、水分を切り、細かい状態とし、一時的に保管する場合でも戻し堆肥と混ぜる等、嫌気状態にならないようにすることが重要であると考えられた。また、原料(廃棄物)混合時の状態について、水分及び比重が高いと、通気性が低くなりやすく、嫌氣的部分が大きくなると考えられた。

攪拌方式の施設については、においセンサー測定値が高い施設と低い施設を比較した。原料(廃棄物)受入及び保管の状況について、動植物性残さは、水分を切るこ

混合時にすぐ崩れる状態とすること、一時的に保管する場合でも副資材・戻し堆肥と混ぜる等、嫌気状態にならないようにすることが重要であると考えられた。

実地調査の結果、原料の大きさ、水分、比重、保管期間・方法、堆積高さが臭気発生に影響する因子と考えられた。

そこで、混合時の水分及び比重の臭気発生への影響を検討するため、堆肥化実験を行った。好気条件では、アンモニアが発生し、メルカプタン類、硫化水素、脂肪酸は不検出であった。この条件では、水分及び比重の影響は、確認されなかった。

嫌気条件では、水分及び比重が高い程、メルカプタン類及び硫化水素が高濃度で発生し、アンモニアは不検出であった。次に空気を供給し、好気条件にしたところ、その 1 日後にはメルカプタン類と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。

これらの結果から、原料の大きさ、保管期間・方法、堆積高さ、そして水分、比重が、悪臭物質の発生因子であると考えられた。また、嫌気状態であっても、十分な空気を適切に供給すれば、嫌気状態が解消され、メルカプタン類などの悪臭物質の発生を抑制できることが示唆された。今後さらにデータを積み重ね、臭気発生を抑制する条件を検討することとしたい。

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、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) 染谷孝, 生ごみリサイクル講座 vol15 堆肥の微生物学, 月刊廃棄物, 41 (9), 32-35, 2015.
- 4) 栃木県農政畜産振興課, 飼料作物の栽培と利用(平成 28 年 3 月), II 飼料作物の利用, 栃木県 HP (https://www.pref.tochigi.lg.jp/g06/gyosei/jyoho/documents/2_tochigisai_baimanual.pdf)
- 5) 堆肥化施設設計マニュアル, 社団法人中央畜産会, 1-31, 2011.
- 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 調査年月日及び調査対象施設の概要

	堆肥化施設			飼料製造施設
	施設K	施設L	施設M	施設N
調査年月日	H29.12.7	H29.12.7	H29.12.22	H29.7.19
取扱品目	動植物性残さ、汚泥、動物のふん尿、木くず	動植物性残さ、木くず、動物のふん尿	動植物性残さ、汚泥、動物の糞尿、廃油・廃酸、廃アルカリ	動植物性残さ
主な動植物性残さ	野菜くず	野菜くず、茶がら等	野菜、菓子類、豆腐等	ビールかす
施設の構造	通気型堆肥舎	スクープ式	スクープ式	
堆肥化期間	2週間 (別会社で2,3年保管)	70日間	40日間	
床下送風設備	有	有	有	
建屋の構造	密閉	密閉	密閉	密閉
脱臭設備	スクラバー	木質チップ	オゾン+ゼオライト	
切返し方法	バックホー	スクープ式	スクープ式	
切返しの頻度	2日に1回	1日に1回	1日に2回	
堆積高さ(m)	2.8	1	1.5	
通常の投入量	約20t/日	35t/日	25t/日	50t/日
菌の添加	無	無	有(EM菌)	有(サイレージ用乳酸菌)
副資材	バーク	木くず、バーク	チップ	
戻し堆肥	有	有	有	
備考(事業者の日常管理)	時々温度測定	毎日温度測定 毎日菌床の状況を確認	毎日温度測定 1日2回臭気を確認 チップの質を確認	

表2 調査項目と分析方法

目的	項目	方法	
発酵状態の確認	堆積高	施設管理担当者へのヒアリング	
	切返し、通気方法		
	副資材の種類及び混合比		
	堆肥化期間		
	日常の管理項目と方法		
	戻し堆肥、菌の添加		
	温度		バイメタル温度計
	湿度		堆積物表面から30cm(表層)と80cm(内部)で測定 温湿度計(堆積物表面に置き測定)
	混合物の比重(容積重)		バケツと重量計による現地測定
	混合物の水分		肥料等試験法3.1.a(乾燥器による乾燥減量法)
pH	肥料等試験法3.3.a(ガラス電極法)		
C/N比(炭素窒素比)	肥料等試験法4.11.2		
0-C(有機炭素)	肥料等試験法4.11.1.b(燃焼法)		
T-N(全窒素)	肥料等試験法4.1.1.b(燃焼法)		
混合物の大きさ・形状	目視		
臭気の確認	複合臭強度	においセンサー(新コスモス電機(株)製XP-329ⅢR) 複合臭の強度を0~2,000の数値で相対的に表示	
	アンモニア	検知管	
	メルカプタン類	検知管	
	硫化水素	検知管	
	脂肪酸	GC/MS法	

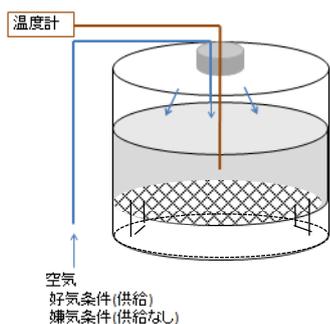


図1 堆肥化実験の概略図

施設N

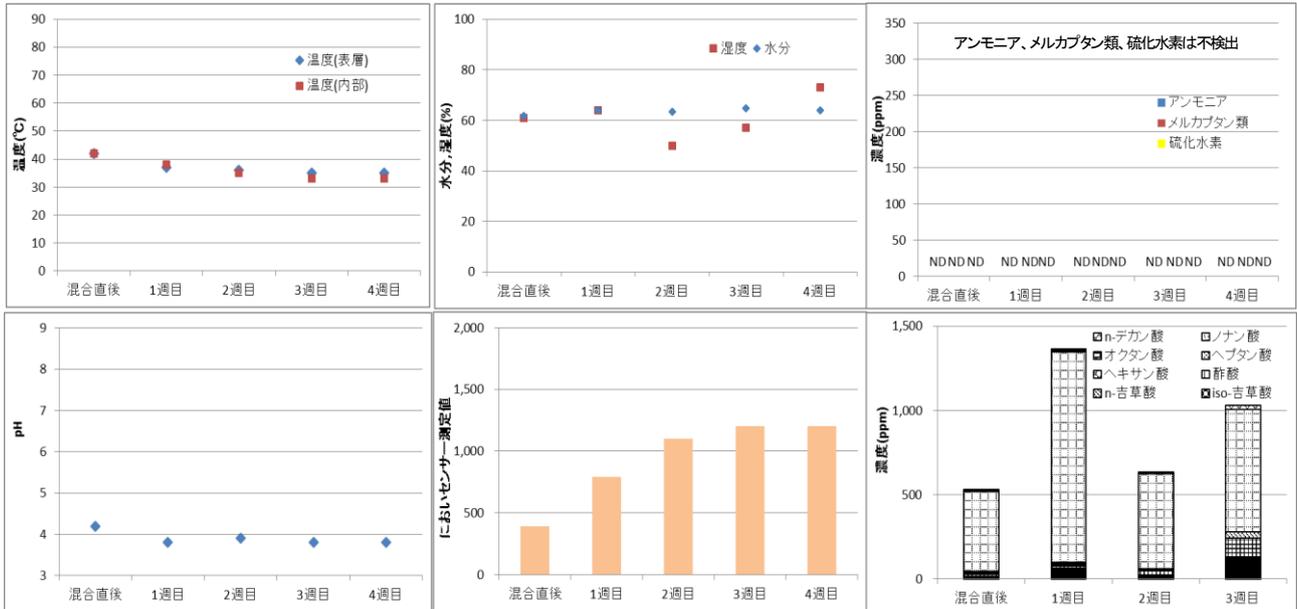
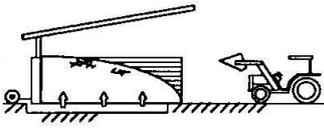
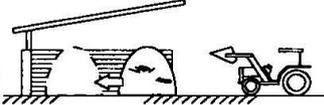
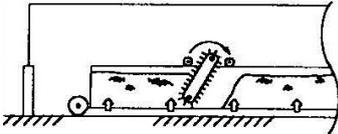


図3 発酵状態と臭気発生状況 (飼料製造施設)

表3 調査を実施した施設の種類

処理方式	施設数	施設名*
堆積方式 通気型 堆肥舎 	6	A, B, F, G, H, K
堆肥舎 	1	J
攪拌方式 スクープ式 	6	C, D, E, I, L, M
計	13	

*下線をつけたものは、29年度に調査した施設

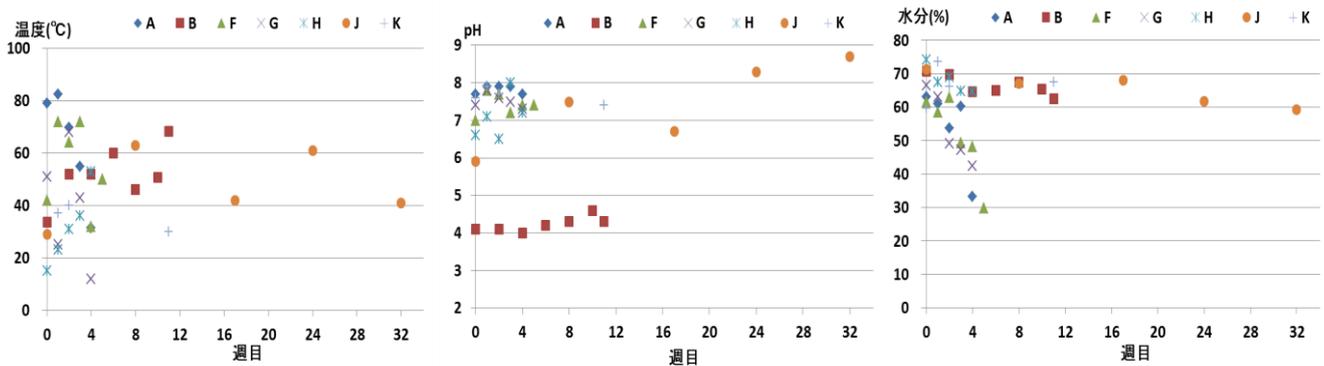


図4 堆肥化の状況 (堆積方式)

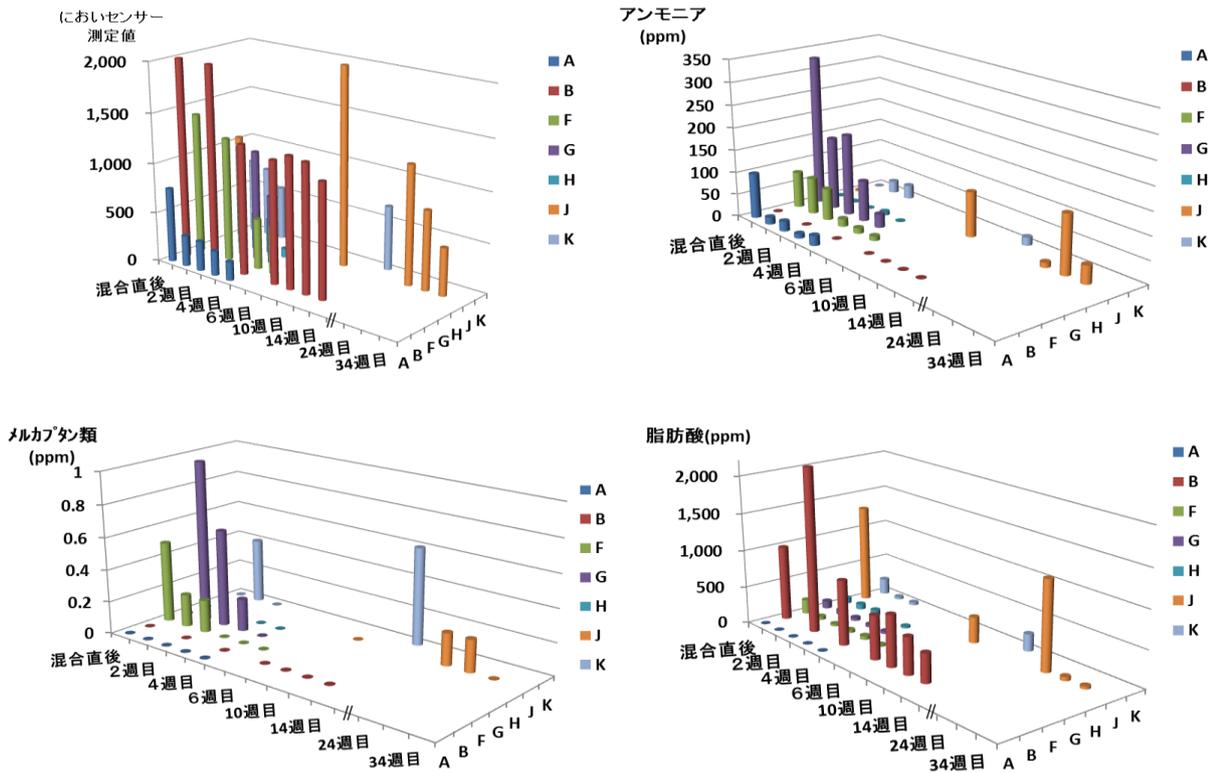


図5 臭気の発生状況(堆積方式)

表4 原料(廃棄物)受入及び保管の状況(堆積方式)

	主な廃棄物			廃棄物の保管期間	においセンサー測定値	アンモニア(ppm)	マルカプタン類(ppm)	硫化水素(ppm)	備考 受入時の条件、目視等
	動植物性残さ	汚泥	動物糞尿						
施設A	○ 野菜くず、餃子餡	○		最長1週間*	690	4	<0.1	<0.05	15社に限定。水分をよくきるよう徹底
施設B	○ 野菜くず、チーズ等	○	○	最長1週間	1,033	<0.5	<0.1	<0.05	特に限定なし。細断されていない野菜が散見された。
施設F	○ 野菜くず、乳製品等	○	○	0日	990	24	<0.1	<0.05	野菜くずはカット野菜
施設G	○ お茶搾りかす、野菜くず	○	○	0日	1,160	13		1.5	性状を予め確認
施設H	○ 野菜くず、コーヒーかす	○		3日	220	<0.5	<0.1	<0.05	野菜くずはカット野菜
施設J	○ 野菜くず、おから等	○	○	0日	保管物がなかったため測定データなし				細断されていない野菜が散見された。
施設K	○ 野菜くず	○	○	0日	保管物がなかったため測定データなし				性状を予め確認

* 動植物性残さは戻し堆肥と混ぜて保管

表5 原料(廃棄物)混合時の状況(堆積方式)

	副資材	戻し堆肥	廃棄物：副資材・戻し堆肥の混合比率	廃棄物に占める動植物性残さの割合(%)	水分(%)	比重	C/N比	pH	温度(℃)
施設A	○ バーク	○	1:1	10未満	63.0	0.41	17.5	7.7	79
施設B	○ バーク		1:2~4	20~30	70.7	0.46	9.1	4.1	33
施設F	○ チップ材	○	1:1	25	61.5	0.45	10.3	7.0	42
施設G		○	1:4~7	10	66.6	0.63	7.9	7.4	51
施設H	○ おがくず、剪定材	○	1:0.2~0.3	3	74.1	0.71	10.3	6.6	15
施設J	○ 樹木チップ	○	1:0.3~0.4	57	71.3	0.50	14.1	5.9	29
施設K	○ バーク	○	1:0.5	40	59.6	0.40	22.9	7.6	36

表6 重回帰分析のパラメータ

説明変数x	目的変数y
(原料の保管)	・においセンサー測定値(平均値)
・保管期間	・アンモニア(平均値)
・受入制限の有無	・メルカプタン類(平均値)
(混合時の条件)	・硫化水素(平均値)
・水分	・脂肪酸(平均値)
・比重	・pH(平均値)
・副資材の有無	・温度(平均値)
・廃棄物と戻し堆肥・副資材の比率	・湿度(平均値)
(堆肥化の条件)	
・堆積高さ	
・切り返しの頻度(1週あたりの回数)	
・菌の添加の有無	

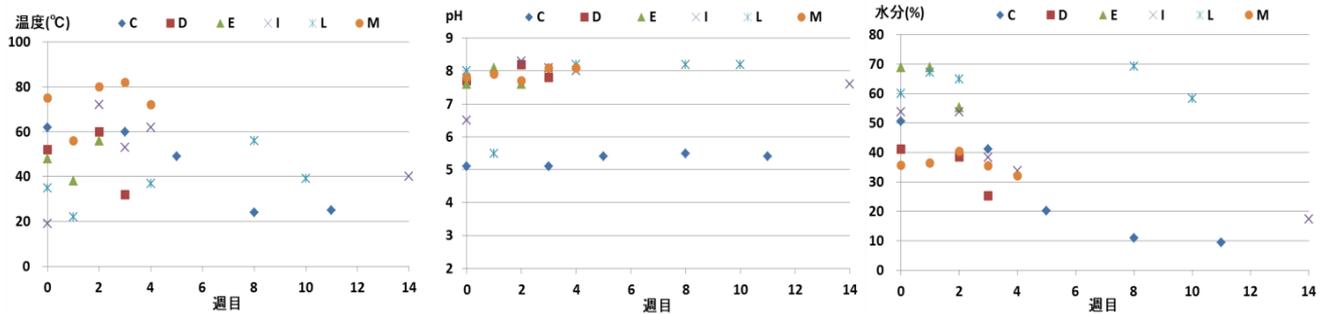


図6 堆肥化の状況(攪拌方式)

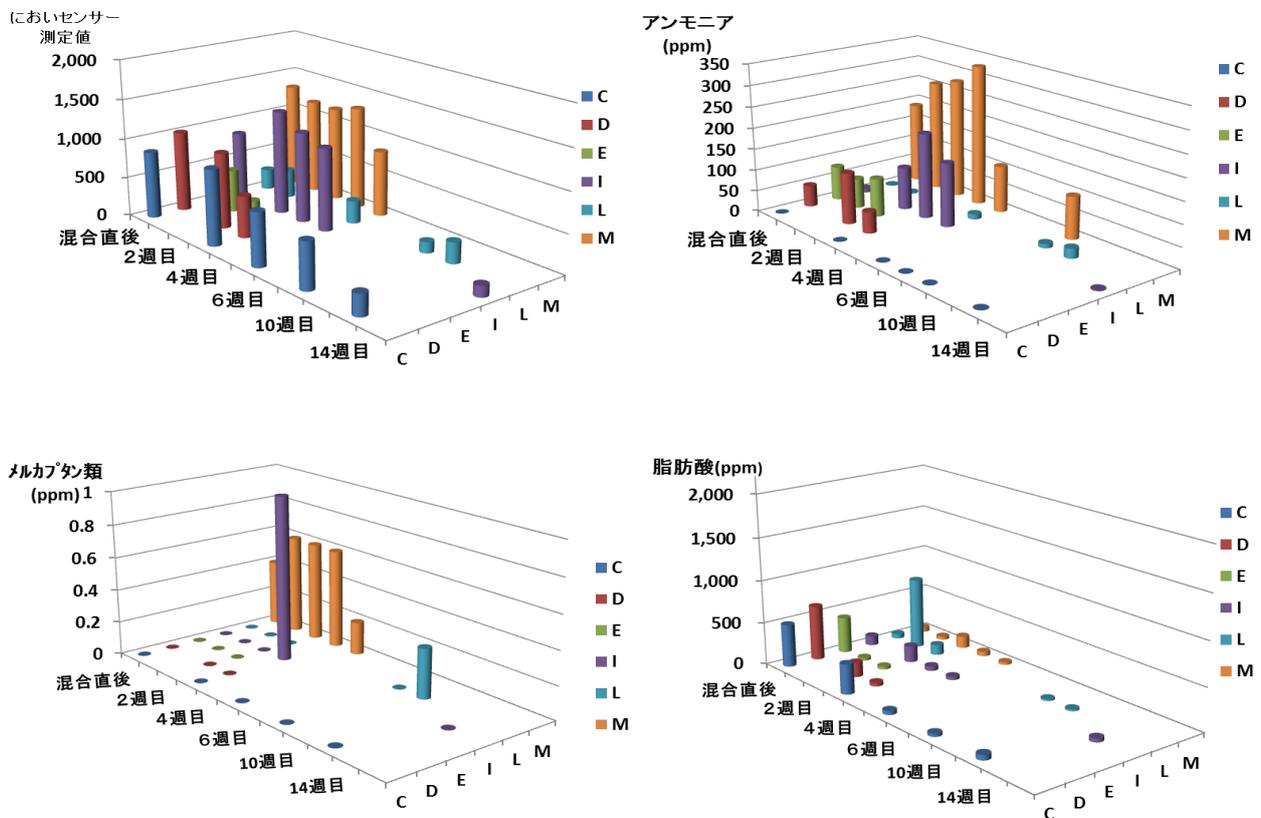


図7 臭気の発生状況(攪拌方式)

表7 原料(廃棄物)受入及び保管の状況(攪拌方式)

	主な廃棄物			廃棄物の 保管期間	においセンサ 測定値	アンモニア (ppm)	メルカプタン類 (ppm)	硫化水素 (ppm)	備考 受入時の条件、目視等	
	動植物性残さ	汚泥	動物糞尿							
施設C	○	米ぬか、おから		0日	保管物がなかったため測定データなし				米ぬか・おからに限定	
施設D	○	野菜くず、ソー セージ	○	○	1~2日	1,050	70	<0.1	<0.05	30cm以内
施設E	○	野菜くず、乳製品 等	○	○	0日	1,050	4	<0.1	<0.05	ローターで混ぜた時すぐに崩れる もの
施設I	○	野菜くず、残飯等	○	○	0日	760	50	<0.1	<0.05	水分をよくきるよう相手に依頼
施設L	○	野菜くず、茶殻等		○	2日*	保管物がなかったため測定データなし				水分をよくきるよう相手に依頼
施設M	○	野菜くず、肉、惣 菜等	○	○	2~3日	1,320	20	0.2	0.25	特に条件なし

*戻し堆肥と混ぜて、水分調整の上、保管

表8 原料(廃棄物)混合時の状況(攪拌方式)

	副資材	戻し堆肥	廃棄物：副資 材・戻し堆肥 の混合比率	廃棄物に占め る動植物性残 さの割合(%)	水分(%)	比重	C/N比	pH	温度(°C)	
施設C		○	1:0.05~0.1	100	50.6	0.43	14.5	5.1	62	
施設D		○	1:0.5~0.6	10~20	41.1	0.77	7.0	7.7	52	
施設E	○	おがくず	○	1:6~7	30	68.9	0.52	22.6	7.6	48
施設I	○	カンナくず、も みがら	○	1:1	67	53.8	0.44	10.1	6.5	19
施設L	○	木くず、バーク	○	1:0.4	60	60.1	0.48	19.8	8.0	35
施設M	○	チップ	○	1:20	47	35.6	0.47	12.7	7.8	75

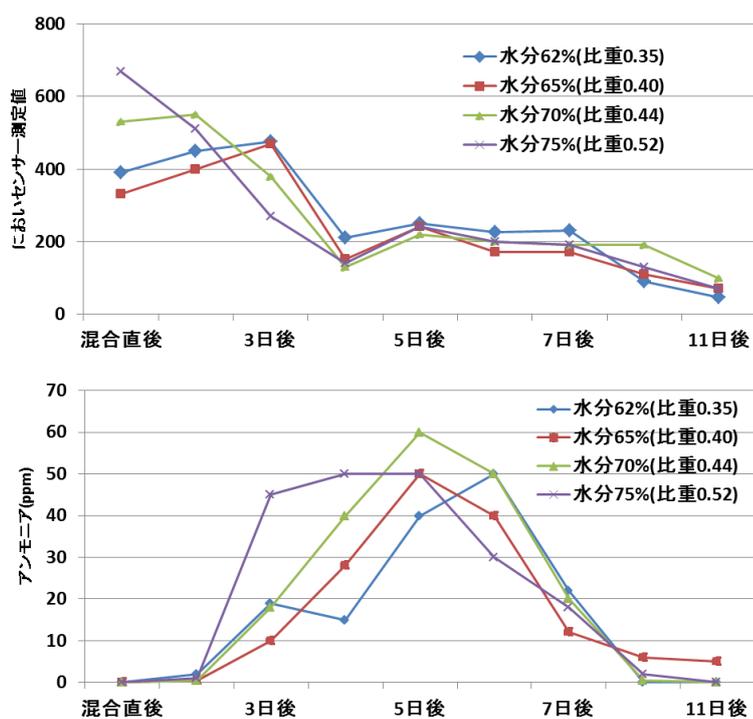


図8 臭気発生状況(好気条件)

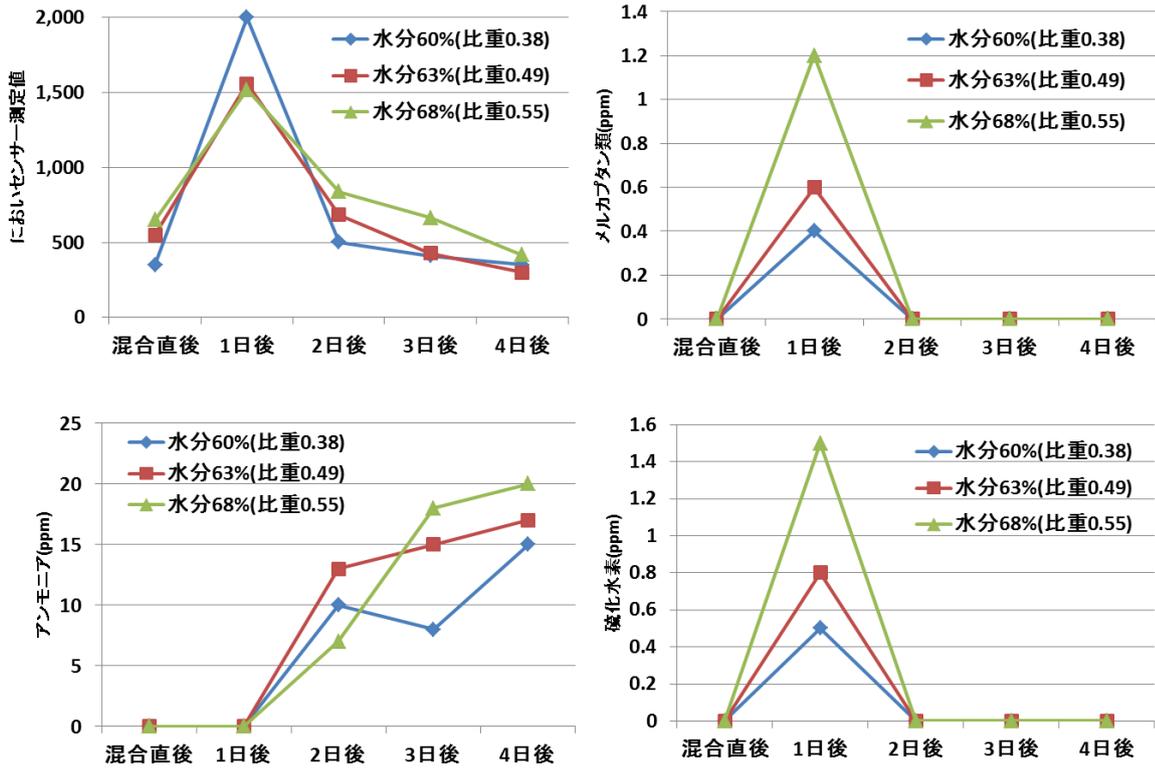


図9 臭気発生状況(嫌気条件)