

## 畜産農家をレスキューする堆肥化促進・消臭資材

### Aerobic Composting of Livestock Manure by Thermophile and Enzymes

木 邑 敏 章 \*  
TOSHIAKI KIMURA\*

トヨタ自動車株式会社新事業企画部バイオ・緑化研究所 〒470-0201 愛知県みよし市黒笹町丸根 1099 番地

\* TEL: 0561-36-8453 FAX: 0561-36-8469

\* E-mail: toshiaki\_kimura@mail.toyota.co.jp

Biotechnology & Afforestation Laboratory, New Business Planning Div., Toyota Motor Corporation,  
1099, Marune, Kurozasa-cho, Miyoshi, Aichi 470-0201, Japan

キーワード: 堆肥化, 低級脂肪酸, *Bacillus licheniformis*, 畜産農家, レスキュー 45

Key words: composting, volatile fatty acid, *Bacillus licheniformis*, livestock farmers, resQ45

(原稿受付 2015年7月22日/原稿受理 2015年7月29日)

#### 1. はじめに

国内では, 平成 25 年畜産統計等によれば, 約 8300 万トンの家畜排せつ物が, 排出されている<sup>9)</sup>。2004 年に本格施行された家畜排せつ物法により, 野積み・素掘りは禁止され, 一定規模以上の多くの農家(牛・馬 10 頭以上, 豚 100 頭以上, 鶏 200 羽以上)は, 事実上堆肥化を行わないと畜産廃棄物を農場外に持ち出せないようになってきている<sup>10)</sup>。

堆肥化は, 農業・畜産業等から発生する有機物を微生物の働きにより分解し, 植物の吸収しやすい状態にする, 昔から一般的に行われている技術である。畜産農家にとっては, 減容・減量ができる大変有効な処理技術である一方, 堆肥化作業は, 多大な労力と時間がかかる骨の折れる作業である。

また, 堆肥化は, 近隣住民に対する悪臭問題, 硝酸態窒素等の水質問題, メタンガスや亜酸化窒素による温室効果ガスの問題など, 環境に大きな負荷を与えている。

近年, 政府は, 化学肥料の高騰や環境保全の観点から, 堆肥の利用を促しており<sup>11)</sup>, また, 多くのバイオマスタウンにおいて, 堆肥センターが設置され運用されている<sup>4)</sup>。しかしながら, 品質にばらつきがある等の理由<sup>16)</sup>で, 耕種農家に, 畜産廃棄物由来の堆肥が十分に利用されているとは言い難い状況である。

これらの①環境負荷軽減, ②畜産農家の負荷軽減, ③資源循環の促進という課題解決のために, 2006 年から「畜産バイオマス事業」として, 堆肥化促進資材「resQ45」シリーズの販売が開始された<sup>15)</sup>。

本報では, 同シリーズの中から, 「豚レスキュー」, 「モーレスキュー」について, 含まれる微生物 TAB7 株の特長や, 現場での実例を交えて, その評価方法の開発も含めて紹介する。最後に, 畜糞処理から「ものづくり」へと変わるために何が必要か考えたい。

#### 2. 畜産農家の堆肥化の現状

国内の家畜排せつ物量は, 年間で, 約 8300 万トンのうち, 牛が最多で, 4800 万トン, 豚が 2200 万トン, 鶏が 1300 万トンである<sup>9)</sup>。

畜種ごとに, 糞の性状が異なり, そのため, 堆肥化における課題(資材等に求めるニーズ)が異なる(図 1)。

##### 2.1 畜種別原料糞の性状

###### (1) 牛

牛は, 牛舎にオガコ等の敷料を大量に使用しており, 畜糞と合わせて集められる。1 頭あたりの糞の量が多いこと, 多量の敷料を含むことから, 畜糞の量が多い。そのため, 減容のニーズが高い。

肉牛と乳牛(酪農)では, 状況が異なる。乳牛の原料糞は, 水分が多いため, 堆肥化のために, 水分の調整が必要となる。通常は, 水分調整には, オガコなどが使用されることが多い。最近では, 木造家屋の新築が減って

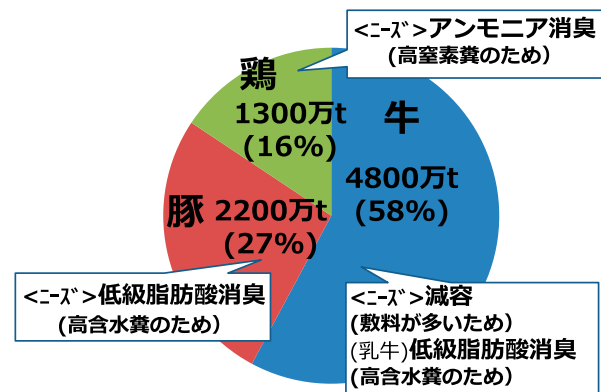


図 1. 畜種別の家畜糞量(年間)と堆肥化ニーズ

ることもあり、地域によっては、オガコが入手し難くなり、オガコの価格も高騰している。オガコが入手できたとしても、堆肥のボリュームが増え、できた堆肥の供給（販売）先に苦勞するため、上述のように減容が求められる。水分調整ができないと、嫌気状態となり、嫌気性菌が低級脂肪酸やイオウ化合物の悪臭物質を生成し、悪臭問題となる。このように酪農家は、肉牛農家に比べて、堆肥化に苦勞している。

## (2) 鶏

牛、豚の窒素の排泄様式は、人間と同様、尿素であるのに対して、鶏の場合は、尿酸である。この違いは、尿酸と尿素の溶解度の違いで説明されている<sup>14)</sup>。鶏は、卵の段階で水分が少ないため、毒性の少ない水に不溶性の尿酸を生成し、成長後も尿酸として排泄する。一方、牛、豚の場合は、尿素を水に溶かした尿として排泄する。ちなみに、魚類は、体内で生成したアンモニアをそのまま、アンモニアとして排出する。水中でアンモニアは溶解、希釈されるため、排出した魚自身に影響がないためである。以上の排泄形態のため、牛、鶏、豚の各糞の中で、鶏糞の窒素含量が一番高い。したがって、通常、堆肥化過程で発生するアンモニアも、鶏の場合が一番多く、養鶏農家の場合、アンモニア消臭が大きな課題である。

採卵鶏（レイヤー）と肉鶏（ブロイラー）では、状況が異なる。ブロイラー農家では、一般に約50日飼育後、出荷される。この間、鶏舎からの糞の払い出しはなく、出荷時に、敷料と合わせて、まとめて鶏舎外に排出される。鶏舎内に糞は堆積されるため、比較的乾燥している場合が多く、堆肥化する際にも、加水が必要な場合が多い。これに対して、レイヤーの場合は、飼いや規模により異なるが、最近では、ウインドウレス（窓がない）の二階建ての鶏舎が多く、ベルトコンベアなどで、毎日または2～3日に1回の割合で、鶏舎外に搬出される場合が多い。夏場は、鶏が水を多く飲むことの影響のために、軟便となる場合が多い。この場合は、上記の乳牛の場合と同様に、水分調整が重要となり、水分調整が不十分な時は、嫌気状態となり、嫌気性菌により低級脂肪酸やイオウ化合物などの悪臭物質が発生する。

## (3) 豚

養豚農家の場合は、豚特有の臭気、低級脂肪酸対策が、一番の課題である。その理由として、尿の割合が高く、高含水の糞であるために、上記の乳牛やレイヤーの軟便の場合と同様に、嫌気状態となり、嫌気性菌が低級脂肪酸を発生する。

## 2.2 堆肥化設備の特徴

畜種による原料糞の違いに加えて、堆肥化設備もさまざまである。大きく分けて、通気設備（ブロワー）のある農場とない農場がある。堆肥化には、酸素が必要なので、通気設備のある農場の方が、良好な堆肥化が期待できる。通気設備のない農場においても、深さ50cm程度までの「浅型レーン」であれば、良好な堆肥化が期待できる。また、通気設備のある農場においても、通気量が多すぎたり、塊ができていない場合においては、空気の通り道ができ、部分的に嫌気状態となる場合があるため、注意が必要である。

最近では、縦型コンポストと呼ばれる、通気により短時間で水分を低下させて、汚物感のない状態にする装置の利用が増えている。一般的には、これまでの堆肥化装置（レーン式やピット式攪拌槽）に比べて、装置内の滞留時間が短いこと、短時間で乾燥することから、微生物が分解できる時間が短く、畜糞原料中の有機物分解は、必ずしも十分ではない、とされている。

## 3. 堆肥化促進・消臭資材レスキューシリーズ

堆肥化促進・消臭資材レスキューシリーズは、トヨタ自動車（株）、（株）メニコン、豊田通商（株）、トヨタルーファガーデン（株）の4社の共同事業として、2006年にスタートした。詳細は、トヨタルーファガーデン（株）のホームページをご参照いただきたい<sup>15)</sup>。

「レスキュー（resQ）」の由来は、リサイクル（**recycle**）、エコ（**eco**）、スピード（＝堆肥化促進）（**speed**）、クオリティー（＝良質堆肥）（**quality**）の各頭文字をとり、さらに、レスキュー（**rescue**）は、災害時に活躍するrescue隊のように、畜産農家や地球環境をrescueしたいという思いも込められている。われわれ、日々「rescue」精神に則り、業務を行っている。これまで、レスキューシリーズ全体で、累積約16万袋販売されている（2015年5月末現在）。これは、160万トンの畜糞を処理してきたことになる。

われわれの堆肥化促進・消臭資材レスキューシリーズの商品には、大きく2種類ある。1つは、繊維質を分解する酵素と好熱菌を含む「新特別急酵」であり、アンモニア消臭と減容向けである。もう1つは、豚糞に代表される高含水の原料糞の悪臭物質である低級脂肪酸を分解する微生物を含む「豚レスキュー」、「モーレスキュー」である（図2）<sup>7,15)</sup>。

以下に、「豚レスキュー」、「モーレスキュー」について、述べる。

### 3.1 低級脂肪酸

「豚レスキュー」、「モーレスキュー」は、低級脂肪酸を分解し、消臭する資材である。低級脂肪酸は、炭素鎖長の短い脂肪酸のことであり、揮発性脂肪酸（VFA; Volatile Fatty Acid）とも呼ばれる。悪臭防止法では、低級脂肪酸のうち、プロピオン酸、酪酸、吉草酸、イソ吉草酸の4物質が管理されている<sup>6)</sup>。

これらの物質の特徴の1つとして、同じく堆肥化で問題になる悪臭物質のアンモニアと比較して、閾値が低いことがあげられる。閾値の比較を表1に示す<sup>8)</sup>。アンモニアの閾値が、1.5 ppmであるのに対し、プロピオン酸、酪酸、吉草酸、イソ吉草酸は、それぞれ、5.7 ppb, 0.19 ppb, 0.037 ppb, 0.078 ppbであり、260～約40,000倍の低濃度でも臭うことを意味する。

もう1つの特徴としては、空気よりも重いことである。アンモニアは空気よりも軽い（0.597）ために、上方に拡散しやすいのに対し、低級脂肪酸は、上方に拡散されず（プロピオン酸：相対蒸気密度2.6、酪酸：相対蒸気密度3、吉草酸相対蒸気密度3.52、イソ吉草酸：相対蒸気密度3.53）、特に農場が山の上にある場合は、下方の住宅地まで、臭気が流れて、苦情の対象となる場合



図2. レスキューシリーズの商品 (A) 新特別急酵, (B) 豚レスキュー, モーレスキュー

表1. アンモニアと低級脂肪酸の閾値

悪臭物質	閾値 (ppm)
アンモニア	1.5
プロピオン酸	0.0057
酪酸	0.00019
吉草酸	0.000037
イソ吉草酸	0.000078

表2. TAB7 株の生理学的性質

カタラーゼ	+
オキシダーゼ	-
酸・ガス生成 (グルコース)	-
カゼイン	+
デンプン	+
β-ガラクトシダーゼ	+
ウレアーゼ	-

がある。

この低級脂肪酸は、家畜の腸内において、すでに腸内の嫌気微生物により生成される。最近では、酪酸は、動物に良いとの報告があり<sup>12)</sup>、酪酸を生成する酪酸菌を生菌剤として飼料に添加している例がある。動物にとって、良い効果があっても、吸収されずに排出されれば、悪臭物質となる。

このように、低級脂肪酸は、閾値が低く、糞として排出される前から（動物の腸内ですでに）生成されており、糞排出後も、嫌気条件になれば、嫌気性菌により生成されるので、完全に消臭することは容易ではない。われわれは、堆肥化過程において、できるだけ速やかに低級脂肪酸を分解・消臭するために、低級脂肪酸分解菌の取得を目指した。

### 3.2 低級脂肪酸分解微生物のスクリーニング

堆肥化過程で低級脂肪酸を分解する微生物を得るために、以下の条件を設定した。

堆肥化過程では、発酵熱により温度は70°C付近まで上昇するので、高温でも機能する事、低級脂肪酸以外にも多様な有機物分解能を持つ菌を選抜する事の2点を低級脂肪酸分解能以外に、スクリーニングの条件に加えて実施した。

低級脂肪酸は、揮発性のある悪臭物質であり、実験室での取扱いが煩雑なため、1次スクリーニングには、低級脂肪酸そのものを使用せずに、側鎖に脂肪酸をもつ界面活性剤 Tween20 (Polyoxyethylene Sorbitan Monolaurate) を用い、Tween20 を含む固体培地で、生育するコロニーを選抜した。生育したコロニーは、リパーゼ活性を有し、

- ★難分解性有機物を強力分解（セルロース系、脂質系）
- ★堆肥化中の高温状態で活発に活動（20°C～60°C程度）
- ★硝酸還元能

側鎖の脂肪酸を代謝し、資化している可能性が高いと考えられ、長鎖の脂肪酸を資化できるならば、短鎖の低級脂肪酸も分解・代謝できるはずと考えた。分離源には、全国各地の畜産農家の堆肥サンプル、数100種類を用い、培養温度は、50°C、または65°Cで実施した。2次スクリーニングでは、低級脂肪酸分解能やその他有機物の分解能を評価し、最終的に、TAB7株を選抜した。

### 3.3 TAB7株の諸性質

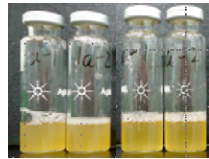
TAB7株の16SrRNA遺伝子の系統解析と生理・生化学試験の結果から、*Bacillus licheniformis* と同定された。バイオセーフティレベル1で、安全な微生物である。FDAでは、飼料添加物として認可された例がある。

主な生理学的性質を示す（表2）。グルコースから、酸・ガス生成はないことから、堆肥化過程で、TAB7株自身による低級脂肪酸の生成の可能性がないことが示された。また、ウレアーゼ活性がないことから、堆肥化過程で、TAB7株自身による尿素からのアンモニア発生の可能性がないことが示された。TAB7株は、低級脂肪酸以外では、セルロース (CMC; carboxymethyl cellulose)、脂質、芳香族化合物を分解することがわかっている。TAB7株の増殖の温度域は、20～60°C程度であり、硝酸還元能を有する。

50°C、静置18時間培養で、硝酸カリウム存在下で、より増殖したことから、微好気条件下、硝酸呼吸により、

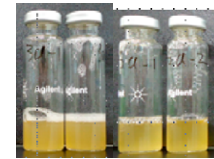
### 好気条件 (50°C, 振盪18時間)

<NBYG培地基質無添加>



硝酸カリウムあり 硝酸カリウムなし

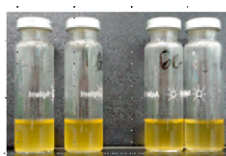
<NBYG+酪酸 100ppm>



硝酸カリウムあり 硝酸カリウムなし

### 微好気条件 (50°C, 静置18時間)

<NBYG培地基質無添加>



硝酸カリウムあり 硝酸カリウムなし

<NBYG+酪酸 100ppm>



硝酸カリウムあり 硝酸カリウムなし

(NBYG培地+KNO<sub>3</sub>  
+吉草酸100ppm,  
50°C, 18時間)

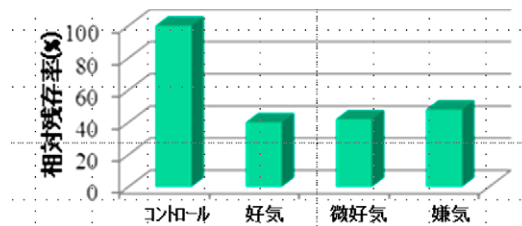


図3. TAB7株の低級脂肪酸分解

エネルギーを得て、増殖していることが確認された。さらに、酪酸(100 ppm)を添加したところ、より増殖したことから、微好気条件下、硝酸呼吸により、酪酸を資化していることが確認された。

50°C, 18時間の低級脂肪酸分解能をしらべたところ、好気、微好気、嫌気各条件で、ほぼ同様の分解能を示した(図3)。

#### 3.4 堆肥化ラボ試験

堆肥化のラボ試験は、畜産草地研究所が開発し、富士平工業で製造・販売されている堆肥化装置「かぐやひめ」<sup>2)</sup>を用いた。その結果、豚レスキュー未使用の場合と比較して、各低級脂肪酸が、75%から95%まで低減していることが確認できた(図4)。なお、低級脂肪酸の測定は、堆肥化5日目の切り替えし時のサンプルを加熱し、ヘッドスペースガスをGC-MS(ガスクロマトグラフィー質量分析計)で分析することにより、測定した。

以上の試験管レベル、およびラボ堆肥化試験での結果に基づき、2011年6月に「豚レスキュー」として発売を開始した。

#### 3.5 豚レスキューの養豚農家での使用効果

発売以来4年間、累計1500袋継続使用いただいている山形県の大手農場では、水分調整時に、オガコと籾殻を添加する際に、豚レスキューを投入している。さらに、スクリーパーランサーという装置で、豚糞を粉碎した後に、ブローワー付のピット式発酵槽に投入している(図5)。4日以内に70°Cまで温度が上昇する。この間に、低級脂肪酸は低減する。

青森県の養豚農家では、後述の低級脂肪酸測定装置での測定により、直線レーンの入口付近の低級脂肪酸が、

資材導入前には、200 ppbであったものが、豚レスキューの継続使用により、40 ppbまで低減した。このことから、豚レスキューは、堆肥化の比較的早い段階から低級脂肪酸を低減することが明らかになった。

低級脂肪酸は、閾値が低いため、90%低減できたとしても、現場では、臭気は残り、その場では効果を実感しにくい場合がある。しかしながら、実際には、発生源の臭気濃度が低減すれば、それに伴い、拡散範囲は狭まることになるため、確実に、近隣住民に対する苦情のリスクは低減できることになる。

#### 3.6 低級脂肪酸測定装置

現在、現場での臭気を測定する方法としては、検知管を使用することが一般的である。測定できる悪臭物質の種類としては、アンモニア、酢酸、アミン類、メチルメルカプタン、硫化水素などがある<sup>3)</sup>。低級脂肪酸も、酢酸用検知管で測定可能である。しかしながら、閾値が低いため、実際の畜産農家では、検出限界(1 ppm)以下でも、臭いというのが実情である。検知管以外の方法としては、現場のガスまたはサンプルを持ち帰り、ラボでGC-MSで測定することは可能であるが、煩雑であり、結果が出るまでに時間を要する。

一方、最近、自治体によっては、悪臭防止法の運用方法として、これまで規定されていた悪臭物質(22物質)の濃度規制ではなく、臭気指数で規制をすることが、増えてきている<sup>6)</sup>。臭気指数の測定は、敷地境界風下のガスを採取し、持ち帰り、パネルによる官能試験を実施するものである。この方法では、結果が出るまでに時間を要する。最近では、「ニオイセンサ」と呼ばれる現場で臭気強度相当の数値を出すことが、できるとされている装置が市販されている<sup>13)</sup>。この装置は、悪臭も、良

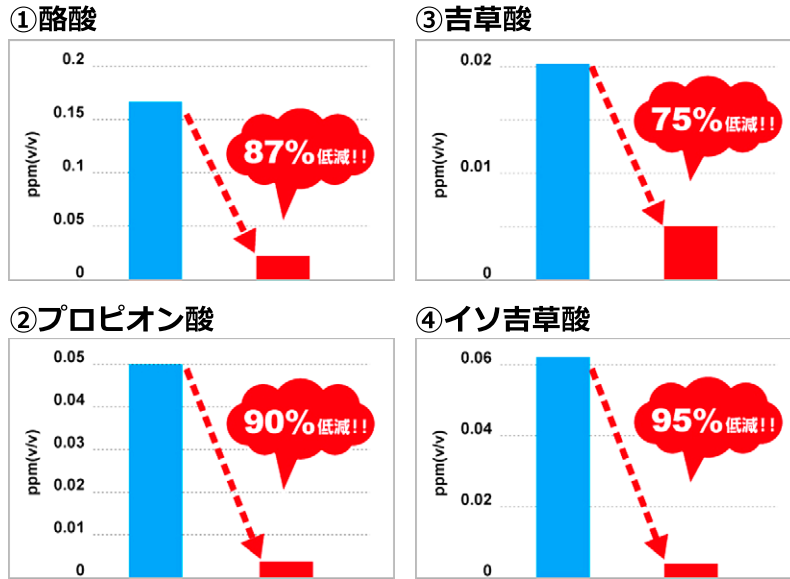


図4. 堆肥化ラボ試験



図5. 豚レスキューの使用農場

い臭いもカウントするもので、豚糞からの臭気は複合臭であるために、低級脂肪酸を測定することはできない。

そこで、我々は、現場で、低濃度の低級脂肪酸を測定できる装置の開発を行った<sup>9)</sup>。基本的な原理は、試料ガスを捕集管に濃縮させた後、捕集管を加熱し、脱着されたガスを検知管で測定するというものである(図6)。捕集する試料ガスの量を変えれば、原理的には、低濃度の低級脂肪酸にも対応できることになる。実際、現在、通常は、5 L のガスを吸引し、50 倍濃縮で測定している。

2013年秋から、養豚農家には、豚流行性下痢症(PED; Porcine Epidemic Diarrhea)が、日本全国に蔓延し、また、完全には鎮静化していない。

そこで、養豚農家同様に低級脂肪酸の臭気が問題となっている酪農家で、実際に、現場での低級脂肪酸の測定を行った。測定は、原料糞を乾燥するための浅型レーンの投入口から15 m ほどの地点で行った。

その結果、資材投入前には、低級脂肪酸濃度が130 ppbであったものが、資材投入後には20 ppb 以下へと低減した。資材投入をやめると、低級脂肪酸濃度は高くなり、再投入すると再び低級脂肪酸濃度は、低減した。

### 3.7 豚レスキューのその他の効果

豚レスキューを使用し、作成した堆肥の抽出液を吸わ

せたコマツナの種子の発芽率と初期伸長(1週間)を水(対照区)と比較したところ、発芽率と初期伸長ともに良好であった。この傾向は、多くの農場で見られたことから、資材の主成分であるTAB7株が、発芽阻害物質を分解しているのではないかと考えている。これについては、現在、詳細を検討中である。

## 4. おわりに

最後に、これまで、畜産農家における「堆肥化」は、家畜の排せつ物という「廃棄物の処理」という位置づけであったが、化学肥料の高騰や食糧安全保障の観点や周辺環境への配慮という観点から、品質の安定した良質堆肥の製造という「ものづくり」の視点が求められるようになってきている。

「堆肥化」を「医療」になぞらえて、考えてみると、まず、「診断・診察」を行い、現状を把握し、それに基づき、治療・投薬方法を決めて、実施する。場合によっては、メタボ対応で生活習慣指導も行われるかもしれない。その結果として、健康体となる。

堆肥化の場合においても、原料(生糞)や堆肥化設備の確認等の現状を把握し、その情報に基づき、資材を選定し、運転方法(通気・攪拌条件等)を決めて、実施す

## ＜基本原理＞



1) 試料ガスを捕集管に濃縮



2) 加熱脱着ガスを検知管で評価



図 6. 低級脂肪酸測定装置

る。場合によっては、設備補修や、ムダの排除、4S等の現場カイゼン指導が必要な場合もあるかもしれない。これらの結果として、良質堆肥の製造が可能となる。農場によっては、堆肥が高く売れない現状では、堆肥を製造すればするほど赤字で、堆肥の減容が求められる場合もある。その場合には、「健康体」よりも「スリム化」が求められる。

今後は、このような農家のニーズ、農家の原料糞や設備等の状況に応じた、やり方を提示し、最終的には、畜産農家の経営に少しでも貢献できるような資材・サービスの提供を目指したい。そのためには、従来ブラックボックスであった堆肥化過程を科学的にきちんと把握することが求められる。

## 謝 辞

新特別急酵を実際に開発した株式会社メニコン 亦野浩氏、加藤直樹氏、低級脂肪酸測定装置の共同開発者である株式会社豊田中央研究所 岩井幸一郎博士、TAB7株の芳香族化合物分解にご協力いただいた東京大学生物生産工学研究センター 野尻秀昭先生に厚く御礼いたします。

## 文 献

- 1) 独立行政法人農林水産消費技術センター (FAMIC). 肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件 混合堆肥複合肥料. <http://www.famic.go.jp/ffis/fert/kokuji/60k0284.htm>
- 2) 富士平工業. 小型堆肥化実験装置 かぐやひめ (畜試式).

<http://www.fujihira.co.jp/seihin/chk/kaguyahime.html>

- 3) ガステック. 検知管式測定器. <http://www.gastec.co.jp/products/frame.php?place=seihin/c1.htm>
- 4) 一般社団法人日本有機資源協会 (JORA). バイオマスタウン構想分析 DB. [http://www.jora.jp/biomastown\\_DB/](http://www.jora.jp/biomastown_DB/)
- 5) 岩井幸一郎, 早川和美, 伊藤 宏, 今枝孝夫, 木邑敏章, 大谷 肇. 2014. 検知管を用いた低濃度低級脂肪酸の測定方法の開発. におい・かおり環境学会誌. 45: 29-37.
- 6) 環境省. 2006. 悪臭防止法の手引き. [http://www.env.go.jp/air/akushu/law\\_tebiki/](http://www.env.go.jp/air/akushu/law_tebiki/)
- 7) Kimura, T., M. Hayashida, H. Kambe, and N. Tada. 2014. Aerobic composting of livestock manure by thermophile and enzymes. 9<sup>th</sup> International Conference ORBIT (Organic Resources and Biological Treatment) 2014.
- 8) 公益社団法人におい・かおり環境協会. 嗅覚閾値. <http://orea.or.jp/about/ThresholdsTable.html>.
- 9) 農林水産省. 家畜排せつ物の発生と管理の状況. [http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t\\_mondai/02\\_kanri](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/02_kanri)
- 10) 農林水産省. 家畜排せつ物法とは. [http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t\\_mondai/03\\_about/](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/03_about/)
- 11) 農林水産省. 環境保全型の農業直接支払交付金. [http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou\\_chokubarai/mainp.html](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/mainp.html)
- 12) 理化学研究所. 2013. 腸内細菌が作る酪酸が制御性 T 細胞への分化誘導のカギ. [http://www.riken.jp/pr/press/2013/20131114\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2013/20131114_1/)
- 13) 新コスモス電機. ニオイセンサ. [http://www.new-cosmos.co.jp/infor/index\\_5.html](http://www.new-cosmos.co.jp/infor/index_5.html)
- 14) 田宮信雄, 八木達彦訳. 1978. pp. 456-457. コーン・スタンブ生化学 (第4版). 東京化学同人.
- 15) トヨタルーフガーデン. 堆肥化促進システム resQ45. <http://www.resq45.jp/>
- 16) 財団法人日本土壌協会. [http://www.japan-soil.net/BOOKLET/namagomi\\_2008/1-20.pdf](http://www.japan-soil.net/BOOKLET/namagomi_2008/1-20.pdf)