

微生物によるアンモニアガスの脱臭（その2）

脱臭容積の算定

吉田清司*

Deodorization of Ammonia Gas by microbe (2'nd) Calculation of dimensions for deodorization facilities

Seiji YOSHIDA

Abstract

It became clear that ammonia gas which is causative agent of a bad smell was deodorized by using a microbe together with sawdust. I examined relations with the ammonia gas concentration and air volume from blower that were necessary for a design of deodorization facilities experimentally, and this report showed a basic form calculation example for deodorization facilities.

Keywords : compost, ammonia gas, microbe, deodorization, calculation example

1. はじめに

家畜排泄物の適正化処理法が制定され、これまで野積みにされていた畜糞はメタン発酵処理施設や堆肥化処理施設などによって適正に処理されるようになった。堆肥化処理施設には堆肥化施設本体と別に脱臭施設の建設も検討される場合も多い。しかし、堆肥化施設本体と比べ、脱臭施設コストの割高感が問題となっており、脱臭施設建設を見送ることもある。昨年はコストの掛からない脱臭方法の開発を目的に微生物脱臭方法を選定し、その可能性について検討した。その結果、悪臭の原因物質であるアンモニアガスはオガ粉と微生物を併用することによって、脱臭されることが明らかとなった¹⁾。今回は、オガ粉の充填高さを実規模に対応した2.5m長にして脱臭施設設計に必要なアンモニア濃度と処理可能風量との関係を実験的に検討し、脱臭施設の基本計算例を示した。

2. 実験

2.1 実験方法および材料

2.1.1 実験方法

2.1.1.1 実験

実験は以下に述べる装置を作成し、脱臭槽に濃度および送気量の異なる希釈アンモニアを送気しながら、脱臭槽1および2の出口アンモニア濃度を測定して実験装置の脱臭能力を検証した。脱臭能力検証に当たっては、オガ粉への送風量を30l/min, 50l/min, 70l/min, 100l/minに設定し、各々の送風量に対して送気アンモニア濃度を種々変化させ、脱臭槽1の出口アンモニア濃度が供給アンモニア濃度の約1/2で安定する濃度を処理可能濃度とし、その時の送風量を処理可能送風量とした。実験の装置模式図を図1に、装置写真を図2に示す。実験は長さ1.5m, 直径300mmの塩化ビニルパイプ（脱臭槽1）と長さ1.7m, 直径300mmの塩化ビニルパイプ（脱臭槽2）を水道ホース2本で直列に接続し、オガ粉と微生物および栄養塩類を混合し

*社会環境工学科

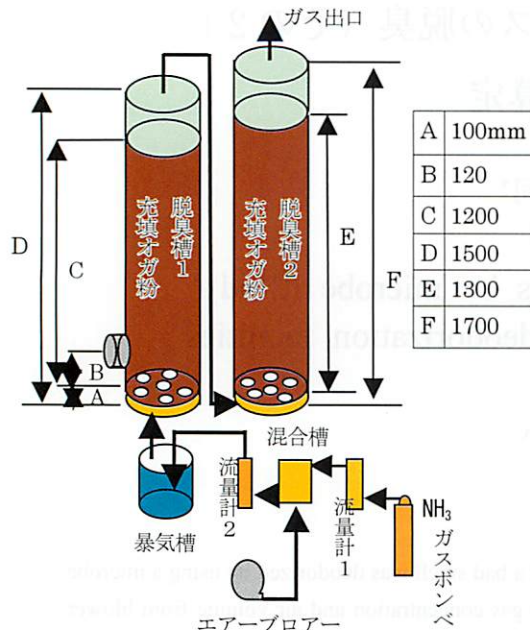


図1 実験装置模式図

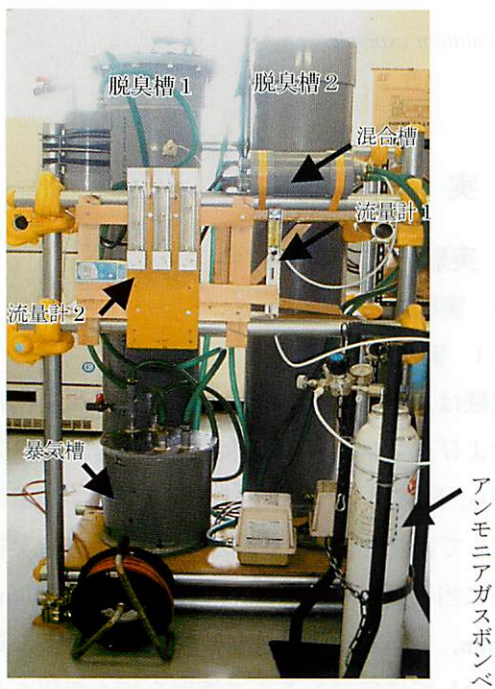


図2 実験装置写真

たものを、各々の脱臭槽に1.2m及び1.3mの高さに充填し、トータル2.5mの脱臭反応長を形成させた。アンモニアガスと空気は混合槽（20cm×100mmΦ）で混合し、混合気体は脱臭槽1の下部から送気し、アンモニアの脱臭確認は脱臭槽1および脱臭槽2の出口でアンモニアガス濃度を測定した。また、送風によるオガ粉の乾燥を緩和するために、混合気体が脱臭槽1に流入する手前に暴気槽（40cm×300mmΦ）を設置し、混合気体



図3 脱臭槽底部の通気盤および不織布

が暴気槽を通過することによって、湿ったアンモニアガスが脱臭槽へ送風されるようにした。

2.1.1.2 脱臭槽

脱臭槽は底から10cmのところを図3に示すような木製の穴あき版をセットしその上に不織布を重ね、通気を確保すると共に充填したオガ粉が底にこぼれないような構造とした。脱臭槽1では底部から22cmの箇所に直径10cmの横穴を開けてオガ粉をサンプリングした。さらに、底部から1.2mの高さに温度センサーを取り付け温度を常時測定した。

2.1.1.3 混合槽

アンモニアガス濃度を調整するために、アンモニアガスと空気を混合槽（長さ20cm直径100mmΦ）で合流させた。

2.1.1.4 プロアー

プロアーは日東工器(株)製メドールコンプレッサ LA-28B、常用圧力0.011MPa、供給量28l/minを2台使用し、脱臭槽に希釈アンモニアガスを送気した。

2.1.1.5 流量計

空気流量計は5-50l/minを3台、アンモニアガス流量計は2-20ml/minを1台使用した。

2.1.1.6 アンモニア濃度測定

アンモニアガスの濃度測定は北川式アンモニアガス検知管（0-260ppm）を使用した。測定は、脱臭槽ガス出口、暴気槽のサンプリング口にて行った。

2.1.1.7 pHの測定

オガ粉10gを水道水100mlに分散させ、pH電極法によって測定した。

2.1.1.8 NH₄-N, NO₂-N NO₃-Nの測定

オガ粉100gに1lの蒸留水を加え1時間後、1 μ mのろ紙でろ過したものを試験液とし、JIS K0102 42.3, JIS K0102 43.1.1, JIS K0102 43.2.4の方法で分析した。

2.1.1.9 含水率の測定

オガ粉を105℃で24時間乾燥して、水分の減少から計算によって求めた。

2.1.1.10 亜硝酸酸化細菌Nitrospiraの測定

㈱ヤクルト本社中央研究所附属分析センター製の消化細菌測定キットを用いた。

2.1.2 材料

2.1.2.1 オガ粉

オガ粉は小菅村産ヒノキ間伐材を使用した。使用したオガ粉の写真を図4に、粒度分布を表1に示した。

2.1.2.2 微生物（腐葉土）

本実験の目的は消化細菌の力を借りてアンモニアを酸化することにより脱臭することにある。そ



図4 オガ粉の形状

表1 オガ粉の粒度分布

粒径(mm)	<1.19	1.19<粒径<2.00	2.00<粒径<4.75	4.75<
重量%	27.9	29.3	37.1	5.6

の微生物の起源を土壤微生物に求め、雑木林の腐葉土を2mmの篩でふるい、その通過分をオガ粉に対して5%添加して用いた。

2.1.2.3 栄養塩

微生物の増殖を助長する目的で栄養塩を添加した。添加量はオガ粉1lに対して次に示すような値とし、水に溶解してオガ粉に散布した。K₂HPO₄ 3g, KH₂PO₄ 0.3g, MgSO₄·7H₂O 0.2g, NaCl 0.1g, CaCl₂·2H₂O 0.02g, (NH₄)SO₄ 1g。

2.1.2.4 アンモニアガス

アンモニアガスは市販の10kg入りガスボンベを使い、吐出圧をレギュレーターによって調整した。

3. 結果と考察

3.1 アンモニアの脱臭効果

オガ粉と微生物によるアンモニアの脱臭効果については昨年の実験によって確認されている。詳しくは平成18年度研究報告書¹⁾を参照。

3.2 送気量と脱臭限界アンモニア濃度との関係

送気量と脱臭限界アンモニア濃度との関係を調べるために、脱臭槽への送気量を一定にして供給アンモニア濃度が脱臭槽1の出口で供給アンモニア濃度の約1/2になる様に供給アンモニア濃度を調整した。

図5, 6, 7, 8に脱臭槽への送気量を30l/min, 50l/min, 70l/min, 100l/minに設定した場合の結果を示す。図には供給アンモニア濃度, 暴気槽出口アンモニア濃度, 脱臭槽1出口アンモニア濃度, 脱臭槽2出口アンモニア濃度を示した。本装置における送気量に対する脱臭限界アンモニア濃度を次のように定義した。

すなわち、送気量に対する脱臭限界アンモニア濃度とは脱臭槽1出口のアンモニア濃度が供給アンモニア濃度に対して約1/2になり、且つ脱臭槽2出口のアンモニア濃度が0ppmを維持する場合の供給アンモニア濃度を言う。脱臭槽1の出口ア

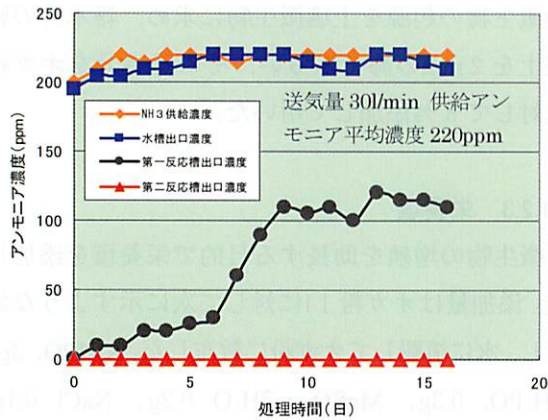


図5 供給アンモニア濃度220ppmに対する脱臭槽1 出口アンモニア濃度の経時変化

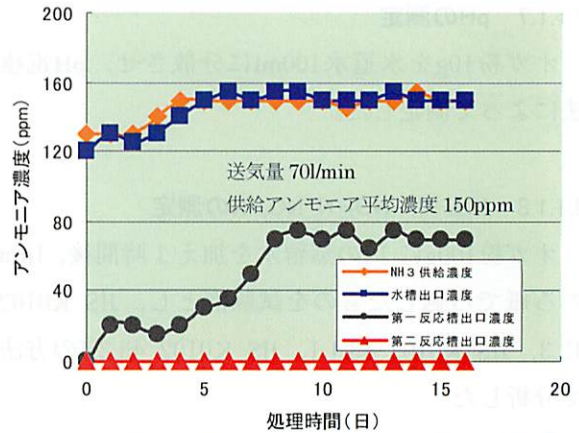


図7 供給アンモニア濃度150ppmに対する脱臭槽1 出口アンモニア濃度の経時変化

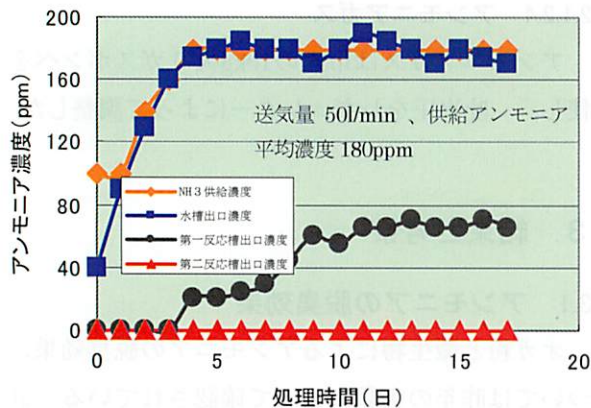


図6 供給アンモニア濃度180ppmに対する脱臭槽1 出口アンモニア濃度の経時変化

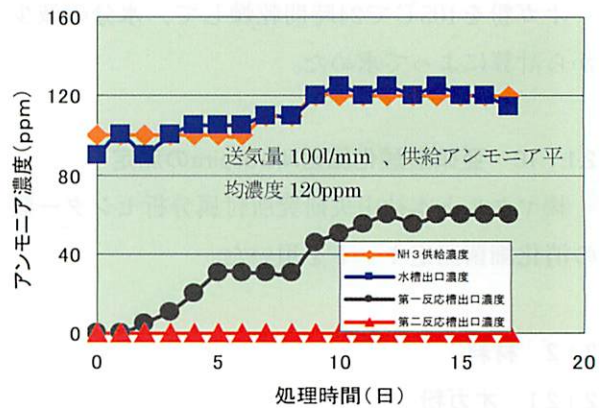


図8 供給アンモニア濃度120ppmに対する脱臭槽1 出口アンモニア濃度の経時変化

ンモニア濃度を供給アンモニア濃度の1/2に設定したのは、超過したアンモニア濃度を脱臭槽2によって完全に脱臭可能であろうと期待したことによる。

実験ではこの設定により、脱臭槽2によって超過アンモニアは0 ppmに処理され、微生物によって完全に脱臭された。しかし、脱臭槽2における脱臭槽1からの超過アンモニアに対してどの程度の脱臭能力が残されているのかの詳細な実験は行わなかった。

理論的には供給アンモニア濃度に対して、脱臭槽1出口のアンモニア濃度が供給アンモニア濃度以上になると、脱臭槽2によっても処理が困難になると予想された。しかし、脱臭槽1出口のアンモニア濃度が供給アンモニア濃度の1/2程度なら脱臭槽2によって処理が可能であろうと推定した。

図5は、あらかじめ次の様な前実験を行い、即ち、送気量を30l/minに設定して、供給アンモニ

ア濃度を増加して行き、脱臭槽1出口のアンモニア濃度が供給アンモニア濃度の約1/2になるところで、供給アンモニア濃度を固定した。この時の供給アンモニア濃度は220ppmで脱臭槽1出口アンモニア濃度は約110ppmであった。また、脱臭槽2出口アンモニア濃度は0 ppmであった。この関係が安定して持続することを確認するために、改めて、送気量を30l/min、供給アンモニア濃度を220ppmとして実験を行った場合の経時変化を示したものである。

図は供給アンモニア平均濃度220ppmに対して約9日間で脱臭槽1出口の濃度が110ppm程度に安定した。その後16日経過しても安定を保ち、脱臭槽2出口アンモニア濃度は0 ppmを維持した。この間の脱臭槽オガ粉温度は24~26℃であった。さらに、送気量50l/min (図6)、70l/min (図7)、100l/min (図8)の場合についても同様に実験を行い、図6と同じような傾向の経時変化が得られた。

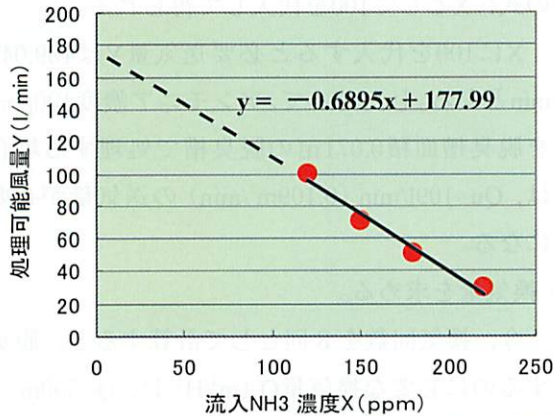


図9 流入アンモニア濃度と処理可能風量との関係

3.3 送気量とアンモニア濃度

本システムを利用して脱臭施設を設計する場合、発生するアンモニア濃度に対してどの程度の送気量を装置に送ることが可能になるかを知ることが重要である。3.2項で送気量に対する供給アンモニア濃度の限界を知ることが出来たので、これらの関係を図にプロットしてみると図9の関係が得られ、処理可能送風量をY、供給（流入）アンモニア濃度をXとした近似式 $y = -0.6895X + 177.99$ が得られた。即ち、本システムを使用して、堆肥舎などの発生アンモニアを脱臭処理する場合には、発生アンモニア濃度から処理送気量が求められ、脱臭処理施設容量の設計が可能になる。

3.4 充填オガ粉の含水率

充填オガ粉の乾燥はアンモニアを分解する微生物に影響を与える。昨年の実験時には定期的にオガ粉に水を添加して含水率を60~70%に調整した。昨年の実験では送気量が26l/minと少量であり、送気によるオガ粉に与える乾燥は限定的であった。しかし、今回の実験では最大100l/minで送気する

ことになるので、影響があるものと考えられた。そこで、オガ粉の含水率を70%にして100l/minで送気し、15日後、脱臭槽1の底部15cmのオガ粉の含水率を測定した結果、オガ粉含水率は14.8%にまで低下することが判った。このため、今回の実験では脱臭槽に送気する手前に暴気槽を設置し、湿ったアンモニアガスを供給した。

その結果、送気量を100l/minで送気しても脱臭槽のオガ粉含水率は64.4~74.4%の範囲に調整され、充填オガ粉の乾燥防止対策として暴気槽を設置する効果のあることが判った。表2に実験期間中のオガ粉含水率を示す。

脱臭槽1底部は直接送気の乾燥影響を受けるために含水率が低く、上部に行くにしたがって送気によって持ち込まれた水分がオガ粉に供給されるために含水率は高くなる。脱臭槽2表面では最終排出口となり、表面が乾燥しやすくなるので、含水率は低くなると考えられた。

3.5 オガ粉のpHおよびNH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nの測定

一般に、アンモニアは独立栄養細菌の亜硝酸菌により $NH_4^+ + 3/2O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O + 65Kcal$ 式に従って生物的に酸化され、亜硝酸(NO₂⁻)が生成される。さらに、NO₂⁻は硝酸菌により $NO_2^- + 1/2O_2 \rightarrow NO_3^- + 17.5Kcal$ 式に従って酸化され、最終的に硝酸が生成されることになっている。本実験において、アンモニアは微生物によって脱臭されることが確認されており、上述した反応が起こっているものと考えられる。そこで、実験後、脱臭槽のオ

表3 脱臭槽内オガ粉のNH₄-N、NO₂-N、NO₃-NおよびpHの測定

表2 脱臭槽内オガ粉含水率(%)

経過日数(月)	脱臭槽1 底部上22cm	脱臭槽1 オガ粉表面下20cm	脱臭槽2 オガ粉表面下20cm
3(送気量 30~50l/min)	68.1	72.5	69.9
1.5(送気量 70l/min)	65.6	74.4	68.7
1.5(送気量 100l/min)	64.4	68.9	68.6

	脱臭槽1 底部上22cm	脱臭槽1 オガ粉表面下20cm	脱臭槽2 オガ粉表面下20cm
アンモニア性窒素(mg/g)	4.5	6.9	0.97
亜硝酸性窒素(mg/g)	0.001	0.8	0.001
硝酸性窒素(mg/g)	0.16	7.5	3.9
pH	8.1	6.4	5.5

ガ粉に含まれる $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ およびpHを測定して反応の有無を確かめた。結果を表3に示す。測定は脱臭槽1底部上22cm, 脱臭槽1オガ粉表面下20cm, 脱臭槽2オガ粉表面下20cmのオガ粉について行った。表3からサンプリング位置によって、濃度に差はあれ、オガ粉全体に渡って微生物がアンモニアを亜硝酸, 硝酸へと酸化していることが推測された。また, 脱臭槽1上部のオガ粉1kgを水道水3lに分散させ, その上澄水を消化細菌測定キット^{2,3,4,5)}で測定した結果, 乾燥オガ粉1g当たり 4.05×10^5 cellsの消化細菌が測定された。

pHは供給されるアンモニア濃度と生成される亜硝酸濃度, 硝酸濃度とのバランスによって変化するが, 本実験ではアンモニアがオガ粉の層を通過するのに従って酸性を示すようになり, 最終生成物の硝酸量が増加していることが示唆された。

3.6 脱臭施設の計算例

堆肥舎などの脱臭施設を設計する場合, 換気回数というのがある。これは, 脱臭対象空間に対して新しい空気を時間当たり何回入れ替えれば, 臭いが緩和されるかという回数である。(社)中央畜産会の堆肥化施設設計マニュアルによれば, この換気回数を8~10回程度必要としている⁶⁾。

今, 堆肥舎の脱臭空間容量(臭いが発生している堆肥舎の空間容量)を例えば 500m^3 , 発生アンモニア濃度を100ppmとした場合, 本システムを使用して脱臭を試みる場合の脱臭施設容量および換気量は, 次のように計算される。

実験条件から,

- ① 基本単位となる脱臭槽必要底面積 A_u を求める。

実験の塩ビ管径は30cmであるから

$$A_u = \pi/4 \times 0.3^2 = \pi/4 \times (0.3)^2 = 0.071\text{m}^2 \text{となり, これを基本底面積とする。}$$

- ② 次にアンモニア濃度100ppmを脱臭するのに必要な基本送気量 Q_u を図10に記載してある近似式から求める。これは, X をアンモニア濃度, Y を送気量とする近似式

$$Y = -0.6895X + 177.99 \dots\dots\dots(1)$$

の式に X として100を代入して得られる。

X に100を代入すると必要送気量 Y は $109.04\text{l}/\text{min}$ となる。したがって, アンモニア濃度100ppmを脱臭槽面積 0.071m^2 の脱臭槽で処理する場合は, $Q_u=109\text{l}/\text{min}$ ($0.109\text{m}^3/\text{min}$)の送気量が必要になる。

- ③ 換気量を求める。

今, 換気回数を8回として計算すると, 脱臭するのに必要な換気量 Q (m^3/H)は, $Q=500\text{m}^3 \times (8\text{回}/\text{H})=4,000\text{m}^3/\text{H}$ となる。

- ④ 脱臭施設として必要な底面積 A_s の求め方

この求め方は上述した A_u , A_s , Q_u , Q から比例計算が成り立ち, 即ち,

$$A_u/Q_u = A_s/Q \dots\dots\dots(2)$$

が成り立つ。

いま, (2)式に $A_u=0.071\text{m}^2$, $Q_u=0.109\text{m}^3/\text{min}$, $Q=4,000\text{m}^3/\text{H}$ を代入すると,

$$0.071\text{m}^2/0.109\text{m}^3/\text{min} = A_s/4,000\text{m}^3/\text{H}$$

$$A_s = 0.071\text{m}^2 / (0.109\text{m}^3/\text{min} \times 60\text{min}/\text{H}) \times 4,000\text{m}^3/\text{H} = 43.4\text{m}^2 \text{となる。}$$

- ⑤ 脱臭施設に必要な送風機容量の求め方

②により, 脱臭槽面積 0.071m^2 のときに必要な送気量は $0.109\text{m}^3/\text{min}$ となるので, 脱臭槽面積 43.4m^2 に必要な送気量 Q_s は次のようになる。

$$Q_s = 43.4 \times 0.109 \div 0.071 = 66.6\text{m}^3/\text{min}$$

したがって, 発生アンモニア濃度100ppm, 脱臭空間容量 500m^3 の堆肥舎の脱臭に必要な施設規模は施設底面積 43.4m^2 , オガ粉充填高さ2.5m, 送風機容量 $66.6\text{m}^3/\text{min}$ となる。

4. まとめ

昨年度は安価な脱臭設備を開発することを目的に, 間伐材のオガ粉と微生物を利用してアンモニアの脱臭実験を行った。その結果, 悪臭の基となるアンモニアはオガ粉と微生物を併用することで, 消臭できることが判った。

今回はオガ粉と微生物を利用した脱臭施設の設計に必要な処理送風量と発生アンモニア濃度との関係を把握することに目的に実験を行った。その

結果、本システムを利用してアンモニアの脱臭を行う場合、堆肥舎などから発生するアンモニア濃度をX(ppm)とし、脱臭に必要な送風量をY(l/min)とすると、YとXとの関係は $Y = -0.6895X + 177.99$ となることが判った。この式を元に、3.6脱臭施設的设计例に述べた様に脱臭施設的设计が可能となった。

参考文献

- 1) 吉田清司：第一工業大学研究報告（第18号），p.55 - 60（2006）
- 2) 特許出願「感作ラテックス，免疫学的測定法および活性汚泥処理施設の管理法」（特願2004-053371）
- 3) 奥村剛一，他：第38回日本水環境学会大会講演要旨集，p.111（2004）
- 4) 奥村剛一，他：日本農芸化学会大会講演要旨集，p.236，（2004）
- 5) 奥村剛一，他：第41回下水道研究発表会講演集，p.1167-1169，（2004）
- 6) (社)中央畜産会：堆肥化設計マニュアル，p.187，（2000）