

微生物によるアンモニアガスの脱臭

吉田 清司*

Deodorization of Ammonia Gas by Microbe

Seiji YOSHIDA

When planning composting facility, it is common that construction of a deodorization facility accompanies within a composting facility. However, about a deodorization facility, an expensive feeling of a cost becomes a problem in comparison with a composting facility, and construction of a deodorization facility tends to be canceled. Therefore, if a cheap method of a cost is developed in deodorization facility, composting facility and deodorization facility can be suggested together. That means that it is preferable from the viewpoint of bad smell prevention. A cheap deodorization method of a cost was examined with a microbe. As a result, the ammonia gas which was causative agent of a bad smell was deodorized by using sawdust and a microbe.

Keyword : compost, ammonia gas, microbe, deodorization, sawdust

1. はじめに

近年、家畜排泄物が原因となる河川や地下水汚染が顕在化するようになり¹⁾、これを防止するために「家畜排泄物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が制定された。この様な制度的な後押し（補助金）も有り、各地で畜糞のメタンガス発酵処理施設や堆肥化処理施設が建設されている。畜糞の堆肥化処理の過程ではアンモニアガスを主体とした悪臭が発生し、民家の近くに処理施設を建設しなければならない条件では、悪臭対策が必要となる。悪臭対策としては脱臭設備を畜糞処理施設に併設することになるが、安価な脱臭設備が少なく経済的負担が大きくなるために敬遠されているのが現状である。

このために、処理施設本体に比べて安価な脱臭設備²⁾が求められており、また、競争力のある堆肥化システムとするためには、堆肥化施設本体と共に脱臭設備も安価なものが必要である。そこで、これまで培ってきたオガ粉および微生物に関する技術や知見から、比較的安価にアンモニアの脱臭が期待されると思われるオガ粉と微生物を利用した脱臭実験を試みた。その結果、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できることが判った。

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 実験装置

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）にオガ粉と微生物および栄養塩類を混合し、1.2mの高さに充填した。アンモニアガスと空気の混合気体はパイプ下部から送気し、アンモニアの脱臭確認は脱臭槽ガス出口のアンモニアガス濃度を測定した。

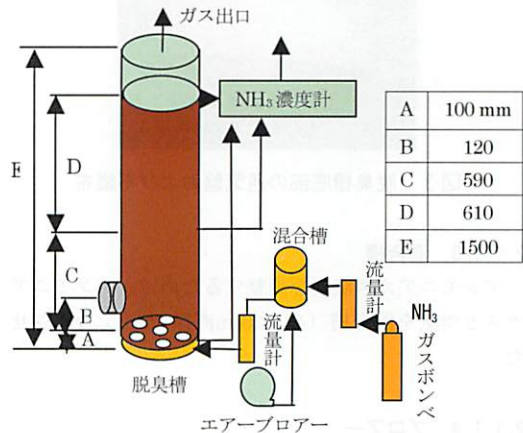


図1 実験装置模式図

*土木工学科

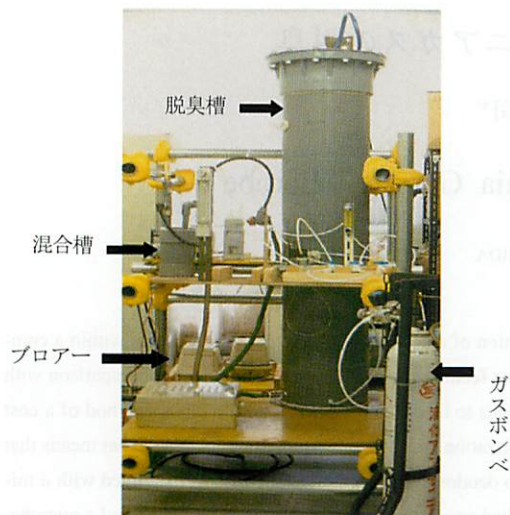


図2 実験装置写真

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。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。その他、底部から69cm、130cmの箇所にアンモニアガス濃度を測定するための内径4mmの吸引用テフロンチューブを取り付けた。



図3 脱臭槽底部の通気盤および不織布

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(高さ20cm直径100)で合流させた。

2.1.1.4 ブローア

ブローアは日東工器(株)製メドーコンプレッサ LA-

28B, 常用圧力 0.011MPa, 供給量 28l/min を使用し、脱臭反応槽に希釈アンモニアガスを 20l/min で送気した。

2.1.1.5 流量計

空気流量計は 5-50l/min, アンモニアガス流量計は 2-20ml/min を使用した。

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) および新コスモス電機(株)製一体型ガス検知器 (アンモニアガス用 PS-6AH 型 0-100ppm) を使用した。測定は、脱臭槽ガス出口、脱臭槽に取り付けたガス吸引チューブおよび混合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 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ の測定

オガ粉100gに1ℓの蒸留水を加え1時間後、1μm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。

2.1.2 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。



図4 オガ粉の形状

表1 オガ粉の粒径分布

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

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)₂SO₄ 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0.2MPaに調整して使用した。

3. 実験経緯と考察

3.1 アンモニアの脱臭効果

混合槽のサンプリング口から測定したアンモニア濃

度を入り口アンモニア濃度、脱臭槽出口におけるアンモニアガス濃度を出口アンモニア濃度として測定した結果は図5に示すとおりである。この時の初期含水率は70.1%である。アンモニアの測定は主にアンモニアガス検知管によって行い、計器による測定値は不安定だった為に参考値に留めた。アンモニアの測定は1日数回行ったが、グラフ化に使用した値は午後1～2時に測定したものを採用した。

実験開始から9日目までの出口アンモニア濃度は0ppmを示し、アンモニアが脱臭槽内で捕捉されることが認められた。しかし、その後の出口アンモニア濃度は上昇し、脱臭能力は認められなくなった。この初期の現象はオガ粉に含まれる水分がアンモニアガスを溶解補足し、その能力が限界に達すると、アンモニアガスはオガ粉を素通りし、出口アンモニア濃度が高くなったものと考えられる。

実験開始14日後、送風のためにオガ粉の水分がどの程度乾燥するのかをオガ粉全量を取り出して調べた。その結果、オガ粉の含水率は上部（オガ粉表面下15cm）では69.8%、下部（オガ粉底部から10cm上）では67.6%であった。微生物が活動し易い含水率が数十%以上であることを考えると、これらの値は微生物が活動するための含水率としては何ら問題の無いことが判った。しかし、アンモニアを補足するためにはオガ粉の含水率が高いほど良いことから、オガ粉の含水率を約71.0%に調製して再び脱臭槽に充填した。

脱臭槽上部および下部のオガ粉の含水率が異なる理由は、20mℓ/minの送風によって底部のオガ粉の水分

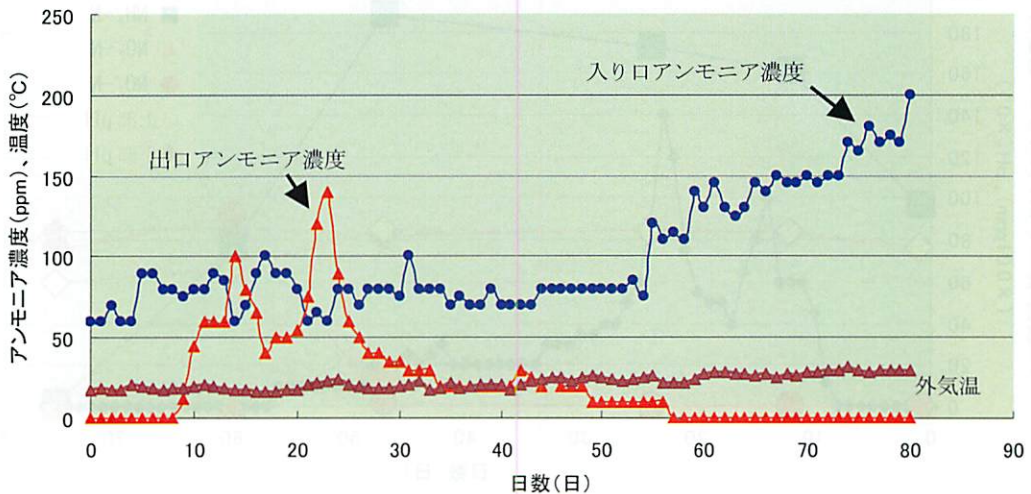


図5 入り口アンモニア濃度、出口アンモニア濃度および外気温の変化

が蒸散され、その水分が上部に移動して行くために、上部のオガ粉の水分量が多くなるためと考えられる。

また、pHの測定結果は、初期 pH6.8 に対して上部オガ粉、下部オガ粉共に8.4でアルカリ性を示した。これはアンモニアガスがオガ粉に吸着した為にアルカリ性となり pHの上昇をもたらしたものである。

実験再開後、出口アンモニア濃度は2、3日低下傾向を示したが、その後24日の140ppmまで上昇し、その後再び低下した。この現象は実験開始から14日までの履歴と同様、水分調整を行ったために、供給アンモニアは一時オガ粉に溶解補足され、飽和状態になるとオガ粉を通過するために測定値が上昇したものと考えられた。その後、出口アンモニア濃度は低下し続け、57日後には0ppmとなってアンモニア臭は感じられなかった。この理由は実験開始後、微生物が徐々にアンモニアを酸化しつつあったものが、24日を境にしてその能力がアンモニアの供給以上に顕著になった結果と思われる。これは後述する硝酸性窒素の分析結果からも支持される。

実験開始54日には入り口アンモニア濃度平均75ppmに対し、出口アンモニア濃度が10ppmに維持され、本実験の目的である微生物による脱臭が達成されたので、さらに、本実験装置での脱臭能力を見るために、入り口アンモニア濃度を段階的に上げて実験を行った。供給アンモニア濃度を段階的に200ppmまで上昇させたが、この間の出口アンモニア濃度は0ppmと測定され、アンモニア臭は感じられない状態となり、

微生物活動が活発になっているものと思われた。

アンモニア除去での生物馴致期間は35~40日以上になると報告されているが³⁾、本実験においても安定的にアンモニア除去が可能と思われる微生物馴致期間は約35日以上になることが知れた。

3.2 オガ粉に含まれるアンモニア性窒素 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 亜硝酸性窒素 ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) 硝酸性窒素 ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) および pH

一般に、アンモニアは独立栄養細菌の亜硝酸菌により $\text{NH}_4^++3/2\text{O}_2\rightarrow\text{NO}_2^-+2\text{H}^++\text{H}_2\text{O}+65\text{Kcal}$ 式に従って生物的に酸化され、亜硝酸 (NO_2^-) が生成される。亜硝酸菌は *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus* および *Nitrosobrevibacter* の5属が知られている⁴⁾。さらに、 NO_2^- は硝酸菌により $\text{NO}_2^-+1/2\text{O}_2\rightarrow\text{NO}_3^-+17.5\text{Kcal}$ 式に従って酸化され、硝酸が生成される。硝酸菌には *Nitrobacter*, *Nitrospina*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* の4属が知られている⁵⁾。

アンモニアが好気性のもとで亜硝酸菌、硝酸菌によって酸化されると、亜硝酸および硝酸が生成されることは上述した通りである。図5の結果は亜硝酸菌および硝酸菌が作用したことを示唆した。

そこで、脱臭槽上部のオガ粉に含まれる $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ および pH を測定して確かめた。結果は図6に示す通りである。図には脱臭槽出口のアンモニア濃度も併記した。

アンモニア性窒素に関しては47日目までは上昇傾向

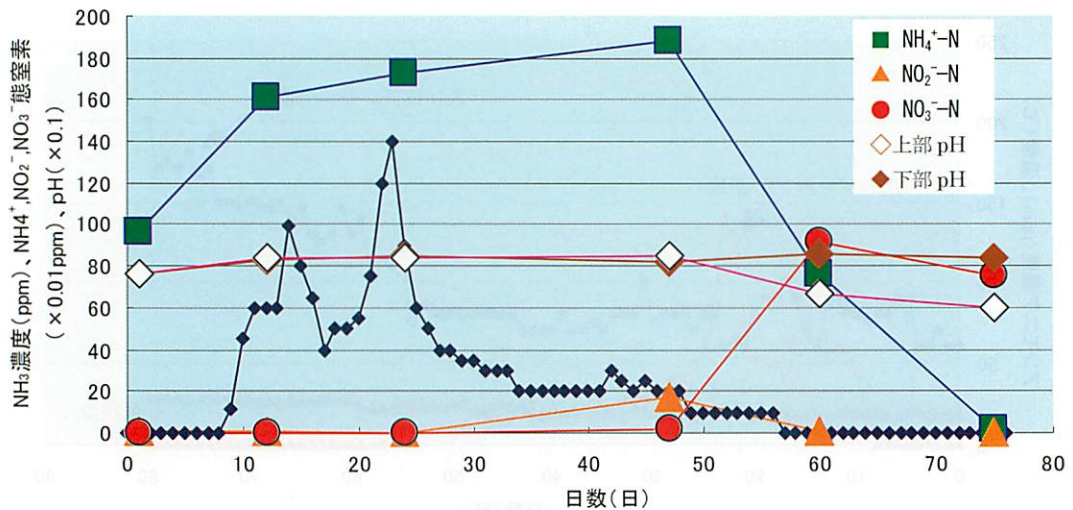


図6 オガ粉に含まれる $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ および pH の変化

を示したが、その後、75日まで一気に低下し75日にはほとんど検出されなかった。

一方、亜硝酸性窒素については24日目まではほとんど検出されなかったが、47日目には18ppmまで上昇し、60日以後再び検出されなかった。硝酸性窒素に関しては亜硝酸性窒素同様、24日までは検出されなかったが、47日目に若干検出され、以後、急激に上昇した。pHについては47日目までは上部オガ粉および下部オガ粉共に、同様な値を示したが、60日以後、下部オガ粉の値が若干上昇したのに対し、上部オガ粉の値は6.0まで低下した。これらの結果に対するプロセスは以下のように推論された。

亜硝酸性窒素については、オガ粉に吸着されたアンモニアが亜硝酸菌の働きによって徐々に亜硝酸に変化した結果、47日目に検出され、その後は硝酸菌の酸化作用によって最終的に硝酸まで変化するために、測定値としては検出限界以下となったと思われる。

一方、硝酸の変化はアンモニアが亜硝酸菌の働きで亜硝酸に変化すると共に、同時に硝酸菌の働きも活発になると予想され、47日目頃からその現象が見られ、60日目の硝酸性窒素の測定値は90ppmに達した。

また、アンモニアおよび亜硝酸性窒素はこれとは反対に亜硝酸菌および硝酸菌による旺盛なアンモニアおよび亜硝酸の酸化作用によって、検出値が低下したものと考えられる。

pHについては、下部のオガ粉は常にフレッシュなアンモニアガスに曝されるのでアンモニア濃度が高く、したがってpHが高いのに対して、上部のオガ粉は活発な亜硝酸菌および硝酸菌の働きによって亜硝酸、硝

酸が生成されるのでpHが低くなるものと思われる。

3.3 脱臭槽の位置の違いによるアンモニア濃度

本装置による脱臭はアンモニアガスが脱臭槽下部から上部に移動する間に、オガ粉に含まれる水に捕捉され、次いでアンモニアが亜硝酸菌および硝酸菌によって最終的に硝酸に変化して行く過程で行われる。脱臭効果を上げる為には、脱臭槽を長くしてアンモニアガスの接触時間を大きくすることが一つの方法である。今回、オガ粉底部から59cmの位置（中間位置）と脱臭槽ガス出口におけるアンモニア濃度を測定して、オガ粉充填高さによるアンモニアの脱臭効果の違いを確認した。測定結果を図7に示す。

中間位置におけるアンモニアガス測定はアンモニアの通気距離がオガ粉充填高さの約1/2程しかなく、したがって、この部分のオガ粉全体のアンモニア吸着能力はオガ粉充填高さ全長を通過するのに比べ、小さくなることが予想される。予想通り通気後3日経過すると、中間位置でのアンモニア濃度は脱臭槽ガス出口のアンモニア濃度が0ppmなのに対し、低部から中間位置までのオガ粉のアンモニア吸着能力は限界を超え、脱臭槽入り口アンモニア濃度とほとんど同じになり、さらに時間が経るとアンモニアがオガ粉に吸着、濃縮されるため、測定されるガス濃度としては供給アンモニアガス濃度以上の値となる。5日後には140ppmを超える結果となった。

その後、濃度は低下傾向を示すが、この頃になると微生物が働きだすものと思われる。14日には水分調整のためにオガ粉を全量抜き取り再度充填して実験を開

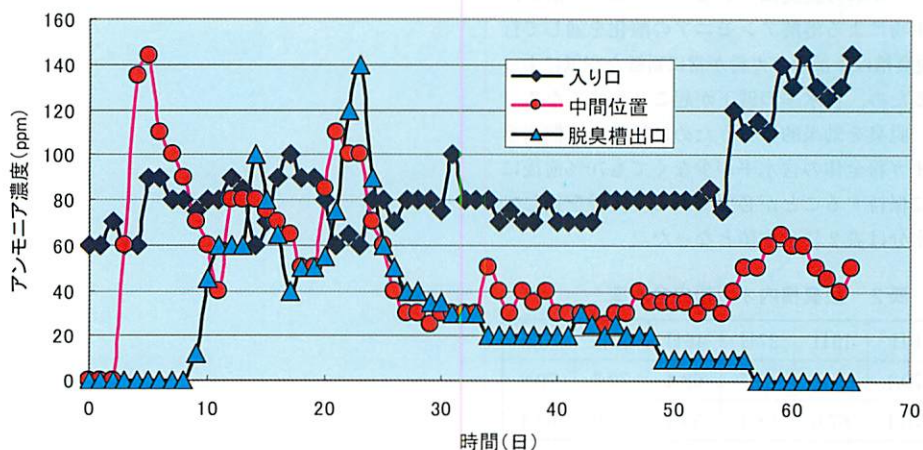


図7 脱臭槽の位置の違いによるアンモニア濃度の変化

始したので、アンモニアガスは水分の補充によって水への捕捉が容易になり、中間位置の通過ガス濃度としては低下した。

しかし、数日経過すると補充水分によるアンモニアの捕捉効果も限界になり、再び中間位置のアンモニアガス濃度は上昇に転じ、21日目の110ppmまで上昇した。22日目以降になると、亜硝酸菌、硝酸菌が活発に増殖し、アンモニアを亜硝酸および硝酸に変化させているものと考えられ、測定値は減少傾向を示した。30日目には30ppmまで低下し、以後55日目に、入り口アンモニア濃度を段階的に上昇させるまで平均して35ppmを記録した。55日目以降は入り口アンモニア濃度を上昇させたため、徐々に中間位置の測定結果も上昇した。

一方、出口のアンモニア測定においては、中間位置に比べ、アンモニアガスの通過距離が2倍となるため脱臭効果は大きくなる。これは中間位置までのオガ粉がそれ以上のオガ粉部分に対して、アンモニア脱臭の前処理、緩衝的な役割を担い、その結果、出口アンモニア濃度は効果的に低下し、脱臭効果が持続するものと考えられる。

出口のアンモニア濃度は図7を見ると判るように、数日遅れて中間位置の履歴を反映する結果となって、脱臭槽出口でのアンモニア濃度は0ppmとなり、アンモニア臭は感じられない状態になった。このように、脱臭能力を大きくするためには、オガ粉充填高さを大きくすることがひとつの方法である。

3.4 脱臭槽内オガ粉の含水率

アンモニアガスの脱臭はアンモニアの水への溶解、次いで微生物による溶解アンモニアの酸化を通して行われる。脱臭槽は下部のオガ粉が常に新鮮な空気によって乾燥するため、含水率の低下が起りやすくなる。そのため、脱臭を効果的に行うためには時々、散水を行って、オガ粉全体の含水率が少なくとも70%前後になるように保持することが必要である。実験を通してオガ粉の水分は表2に示す値となった。

表2 脱臭槽内オガ粉の含水率

測定日	0日	13日	27日	46日	60日	75日
上部	70.1	69.8	69.7	68.4	70.7	70.8
下部	70.1	67.6	68.1	59.1	67.9	63.4

4. あとがき

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。今後は実際の処理規模に適用できる実験データの蓄積を行うと共に、畜糞堆肥の他、生ごみ処理時に発生するアンモニア悪臭対策にも利用を考えたい。

なお、本研究は筆者が(株)鴻池組技術研究所において研究したものをまとめたものである。

参考文献

- 1) 平成13年版奈良県環境白書：第5章第3節畜糞による環境汚染
- 2) (社)中央畜産会：堆肥化設計マニュアル, p.48-49, (2000)
- 3) 西田幸之助, 竹内伸勝, 樋口能士, 樋口隆哉, 昭三：生物学的脱臭方におけるアンモニアの除去機構について, PPM, 5月号, p.71~83 (1995)
- 4) Staley, J.T., Bryant, M.P., Pfening, N. and Holt, J.G.: Bergey's manual of systematic Bacteriology, 3, p.1808, Williams & Wilkins, Baltimore, U.S.A. (1989)
- 5) 吉田陽一, 平田恵三, 門田元, 三橋薫：発酵工学会大会講演集, p.87, (1980)