

(11) 生分解性プラスチックを用いたコンポスト化過程のアンモニア臭低減効果

Effect of Biodegradable Plastic in an Attempt to Reduce Ammonia Emission during Composting

中崎清彦*, 村本智宏*, 江口章子*, 松浦治騎*

Kiyohiko NAKASAKI*, Tomohiro MURAMOTO*, Fumiko EGUCHI*, Haruki MATSUURA*

ABSTRACT; Wastewater treatment sludge contains a high percentage of nitrogen and releases a large amount of ammonia when it is composted. By mixing poly-ε-caprolactone (PCL), a biodegradable plastic, in the raw compost mixture of wastewater sludge, ammonia emissions were reduced drastically due to ammonia being neutralized with the acidic intermediates of PCL generated by the microbial degradation during the composting process. Since the start of PCL degradation is retarded in comparison with that of wastewater sludge, the odor of ammonia was remarkably reduced at the later stage of composting when the PCL was actively degraded, and the ammonia never emitted in that composting period. It was not possible, however, to suppress the ammonia odor completely at the earliest stage of composting, even if the PCL dosage was increased. Furthermore, the effect of temperature on the reduction of ammonia odor was examined by varying composting temperature between 50 °C and 60 °C. It was found that the optimum PCL mixing ratio is approximately 7 with sludge with a value of 5 on a dry weight basis regardless of composting temperature.

KEYWORDS; Sludge; Composting; Odor; Ammonia; Biodegradable Plastic

1. 緒言

コンポスト化は有機質廃棄物をコンポストに変えて土壌還元することのできる優れたリサイクル法であるが、現在まで普及とは程遠い状況にある。その原因の1つに、コンポスト化過程で発生する悪臭の問題がある。コンポスト化の過程で発生する臭気は、さまざまな成分が混合した複合臭であり、臭気成分には、アンモニアやアミン類の含窒素化合物、硫化水素や硫化メチルなどの含硫黄化合物、アルコール類、揮発性脂肪酸などがあることが知られている¹⁻⁸⁾。また、汚泥や家畜糞など窒素含有量の多い原料をコンポスト化した場合には、悪臭の中でも特にアンモニアの発生量が多く、その低減が強く望まれている。アンモニアは微生物によるタンパク質の分解にともなって発生するが、タンパク質がアミノ酸にまで分解されたとき、アミノ酸がアルカリ条件下にあればカルボキシル基はイオン化し、アミノ基はイオン化していないために脱アミノの反応が起こってアンモニアが生成すると説明されている⁹⁾。アンモニアはコンポスト化が好氣的条件に維持されているか否かによらず発生するコンポスト化過程において最も深刻な悪臭物質の一つである。また、コンポスト化が良好に進んで有機物が活発に分解されているときにアンモニアの発生量も多くなる。

コンポスト化処理施設における脱臭プロセスは、洗浄・吸収法、吸着法、燃焼法、酸化法、マスキング法、中和法、生物脱臭法などに分類されるが、これらの脱臭法は、基本的には物理的方法、化学的方法、生物的方法の3つに大別できる。コンポストの付加価値は決して高いものとはいえないこと

*静岡大学工学部物質工学科 (Department of Materials Science & Chemical Engineering, Shizuoka University)

から、従来より低コストの脱臭法が模索されてきた。近年になって、コンポスト化過程で発生する臭気の脱臭のために、経済的な方法として生物脱臭法が適用されるようになってきたが^{1, 6, 7, 10, 11)}、安定的な脱臭のために解決されなければならない問題が残っていることも指摘されている¹²⁻¹⁴⁾。

コンポスト化過程における悪臭対策を考えるときには、コンポスト化の過程で発生した臭気を脱臭する以外に、臭気の発生量そのものを低減させる方法を工夫することが有効と考えられる。コンポスト化の操作条件によって、発生する悪臭濃度がどのように変化するかという観点からの研究もいくつかおこなわれてきている^{1-3, 5, 15-21)}。Lauらは、コンポスト化過程において温度が60℃以上に達するとアンモニア発生量が多くなるので、コンポスト化の温度を高くしすぎないような操作条件が重要と提言している¹⁾。Dewesは、家畜糞のコンポスト化におけるpH、温度、添加する麦わら量などの影響について検討し、pH変化がアンモニアの発生に対して最も大きな影響を及ぼすことを報告している²⁾。また、Kurodaらは揮発性脂肪酸(VFA)がコンポスト化初期でのみ発生し、好氣的条件下で速やかに分解されることを確かめている³⁾。Derikxらは硫黄系臭気成分の発生にコンポスト化温度の影響が大きく、硫黄系臭気成分の中には微生物の作用によらず化学反応で生成するものがあることを明らかにしている⁵⁾。また、太田らは、コンポスト微生物の働きで豚糞および鶏糞などのコンポスト原料に特有な悪臭を除去することに成功している¹⁵⁻¹⁷⁾。中崎らは、コンポスト化過程における臭気成分の発生量と有機物分解量を同時に定量する新しい手法を開発し¹⁸⁾、コンポスト化温度¹⁹⁾、通気性改良材の種類と量²⁰⁾などを変化させることによって、コンポスト化過程で発生する悪臭そのものの低減に及ぼす操作条件の影響を検討している。また、生分解性プラスチックはその分解過程で酸性の分解中間体を生成するものがあることから、コンポスト原料に生分解性プラスチックを混合し分解中間体でアンモニアを中和することでコンポスト化過程におけるアンモニア臭発生を抑制できる可能性がある²¹⁾と指摘している。

使用後は自然環境中の微生物によって炭酸ガスと水にまで分解される生分解性プラスチックは、環境への負荷の小さい高分子材料として注目されるようになり、実用化に向けて多くの種類が開発されてきている。これらの生分解性プラスチックは、微生物産生系、天然高分子系、および化学合成系の3種類に大別されるが、中でもでんぷんを原料に製造できる化学合成系のポリ乳酸は、低価格化できる可能性があること、バイオマスを經由して再生産が可能であること、物性が優れていることなどの観点から将来的には最も有力な材料になるのではないかとわれている。本研究では、コンポスト中で迅速に微生物分解し²¹⁻²⁵⁾、また、分解過程で酸性の分解中間体を生成すること²¹⁾が確かめられている、石油を原料とした化学合成系生分解性プラスチックの一つであるポリε-カプロラク톤をコンポスト原料に混合し、プラスチックの添加量とコンポスト化温度がアンモニア臭低減効果におよぼす影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 生分解性プラスチック

生分解性プラスチックとしてはε-カプロン酸の重合体であるポリε-カプロラク톤(プラクセルH7, ダイセル化学工業株式会社)を用いた。ポリε-カプロラク톤(以下PCLと略す)の構造式をFig. 1に示す。プラクセルH7は、数平均分子量、および重量平均分子量がそれぞれ約60000、および約100000で、コンポスト原料中に大量に混合できるように粒子径63~250 μmφの粒子状に加工したものを用いた。

Poly-ε-caprolactone (PCL)

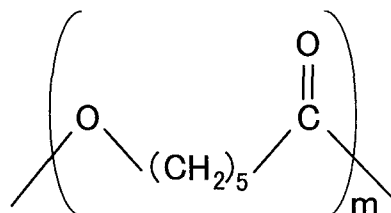


Fig. 1 Molecular formula of PCL

2.2 コンポスト混合原料

コンポスト原料として水産加工センターの排水処理過程で排出された余剰汚泥を用いた。この汚泥の含水率は約77%，炭素，および窒素の元素分析値は，それぞれ38.7%，9.3%でC/N比は4.16と低くなっている。汚泥は同一日に採取したものを，一回の実験で使用する量ずつフリーザーバッグに小分けして-20℃で保存し，実験毎に解凍して使用することにより一連の実験で同一の汚泥を用いることができるように工夫した。汚泥に通気性改良材であるおがくず，および種菌として市販の微生物資材（オーレスG，松本微生物研究所）を乾燥重量比で5：14：1の割合で混合し，さらにPCLを0～10の割合で変化させて添加したものをコンポスト混合原料とした。実験はPCL添加量とコンポスト化温度を変化させてTable 1に示す8通りをおこなった。

なお，本研究で用いたコンポスト化期間の6日間ではおがくずの分解量は極めて小さいことを確かめているので，ここではおがくずを除外して計算したC/N比を示している。コンポスト化温度は50℃，および60℃の2通りとした。なお，PCL添加量を変えたいずれの混合原料においても，初期pHは消石灰を用いて7.5付近に，含水率は蒸留水を加えてPCLを混合しない状態で約60%に調整した。

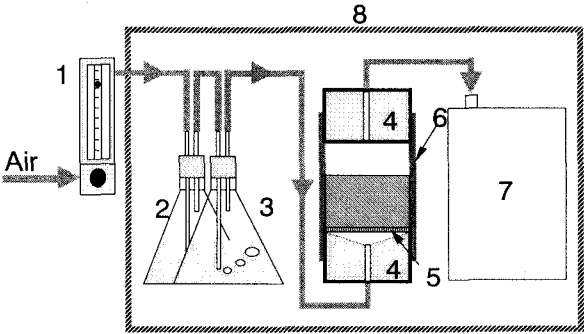
Table 1 Experimental conditions of composting with various mixing ratios of PCL.

Run No.	Sludge : Sawdust : Seed	PCL	C/N	Temp.(°C)
A	5 : 14 : 1	0	5.2	50
B		3	10.3	
C		7	17.1	
D		10	22.2	
a	5 : 14 : 1	0	5.2	60
b		3	10.3	
c		7	17.1	
d		10	22.2	

2.3 コンポスト化操作

コンポスト化システムの概略図をFig. 2に示す。コンポスト化装置本体（ミニリアクタ）は，硬質ガラス製円筒型（直径45mm，高さ100mm）で通気用のガラス管を備えたシリコン栓を上下に取り付けた構造になっている。通気のための空気は，まず炭酸ガスを取り除くためにNaOH水溶液を入れたCO₂トラップに導き，その後水分で飽和させるためにバブラーを通過させた後装置に導いた。通気速度は，4.6mL/minに維持したが，この通気速度でコンポスト化全般にわたって好気条件が維持されることを予備実験から確かめている。上述の方法で調製したコンポスト混合原料をミニリアクタに充填し実験を開始した。なお，コンポスト混合原料の充填量には適正量があり，充填量が多すぎると好気条件が保てなくなり，充填量が少なすぎると乾燥しやすくなって含水率が低下しすぎることを予備実験から確かめているので，PCLの添加量が異なる混合原料でも充填量をほぼ同一の値にそろえた。このためPCLの添加量が多いときには充填される汚泥自身の質量は少なくなっている。

ミニリアクタはインキュベータ（IS800，ヤマト科学株式会社）内に設置して室温から



1. Flowmeter
2. CO₂ trap
3. Bubbler
4. Silicone rubber plug
5. Stainless screen
6. Pylex glass
7. Tedlar bag
8. Incubator

Fig. 2 Schematic diagram of the composting system.

設定温度まで昇温させた後、その温度をコンポスト化終了まで維持した。ミニリアクタからの排気ガスは5L容積のテドラーバッグ（5LタイプA、近江オドエアーサービス）に捕集し、12時間毎にテドラーバッグを交換して、捕集された排気ガス中の炭酸ガス、およびアンモニア濃度を北川式ガス検知管（AP-1、光明理化学工業株式会社）を用いて測定した。また、捕集された排気ガスの容積を乾式ガス流量計（NDP-2A-T、品川精器株式会社）を用いて測定し、炭酸ガス濃度の測定値と合わせて12時間毎の炭酸ガス発生量を求め、炭酸ガスの累積発生量から炭素揮散率（ E_c ）を求めた。炭素揮散率は汚泥中に含まれる全炭素量とそれまでに排気ガス中に揮散した炭素量の比と定義した。ここには詳細を示さないがコンポスト中に保持される炭酸ガス量を無機態炭素（IC）を測定することで定量したところ、16ppmと小さくコンポスト化過程で発生する全炭酸ガス量の0.05%にも満たないことを予備実験から確かめている。このため、微生物による有機物分解で生成した炭酸ガスのうちコンポストに吸着される量は極めてわずかであり、ほとんど全てが排気ガス中に揮散するといつてよく、炭素揮散率は有機物の分解程度を表していると考えることができる。また、アンモニアについても炭酸ガスと同様の方法でアンモニア発生量と窒素揮散率（ E_n ）を求めた。

なお、コンポスト化の進行にともない1日に1度ミニリアクタのふたを開け、均一な有機物分解を目的として葉さじでコンポストを攪拌する切り返しの操作をおこなった。コンポスト化期間は6日間とした。また、pHの経時変化を測定するときには、同時にコンポスト化を開始したミニリアクタを24時間毎に一基ずつ終了させ、その内容物全量を用いて測定する、いわゆる破壊試験をおこなった。pHはコンポストを9倍量の水に懸濁して測定した。

3. 結果と考察

3.1 コンポスト化プロセスの再現性

Fig. 3にRun Aの再現性を確認するためにおこなった6回の実験における炭素ガス濃度、およびアンモニア濃度の経時変化を示す。いずれも12時間テドラーバッグ内に捕集した排気ガス中の濃度を示している。図中には6回のコンポスト化の平均値と95%信頼区間を示すエラーバーを書き加えた。炭酸ガス濃度はコンポスト化24時間付近にピークを持ち、そのときの測定値は約2.5%に達した。アンモニア濃度についてはピークを持つ時間が36時間付近と炭酸ガス濃度に比べてやや遅れることがわかった。アンモニアの発生が炭酸ガスに比べて遅れることは他のコンポスト原料を用いたときにも共通して見られるが、これはコンポスト化においてタンパク質よりも炭水化物が優先的に分解されるため、もしくはタンパク質の分解にともなって生成したアンモニアは一旦、コンポスト混合原料中のおがくずなどに吸着保持された後揮散するため、もしくはその両者によると考えられた。また、炭

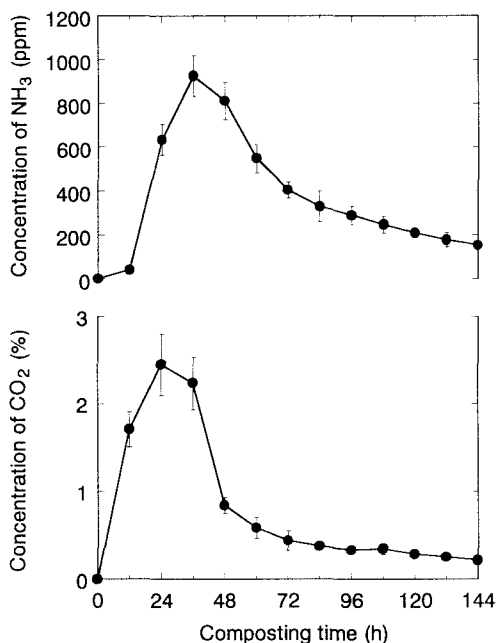


Fig. 3 Averaged concentrations of CO_2 and NH_3 plotted against time in composting Run A. For both concentrations, a 95% confidence interval is shown by an error bar ($n=6$).

酸ガス、およびアンモニアの濃度のいずれもが、95%信頼区間を示すエラーバーが短く、6回の実験の結果はよく再現し、本実験のコンポスト化で得られるデータには良好な再現性のあることがわかった。なお、ここには詳細を示さないが、他のすべての実験についても2回以上の実験をおこない、炭酸ガス、およびアンモニアの発生パターンがいずれもRun Aと同様に良く再現することを確認している。

3.2 PCL 添加と無添加のコンポスト化

コンポスト化温度50℃でPCL無添加のRun AとPCLを7添加したRun Cの炭素揮散率、およびRun CにおけるPCL分解率の経時変化をFig. 4に示す。炭素揮散率はPCL添加の有無によらず汚泥中の炭素量を基準として計算したので、混合したPCLが炭酸ガスにまで分解されると炭素揮散率は100%を越えることも起こり得る。また、PCL分解率はPCL添加の有無で生じる炭酸ガス発生量の差をPCL分解量とし、このPCL分解量と添加したPCL中に含まれる炭素量の比として²²⁾計算した。

炭素揮散率は36時間付近からRun AとCで差が生じ始め、Run Aでは最終的に約40%となったのに対し、Run Cでは約156%と100%を大きく越えた値になっており、PCLは良好に分解されていたことがわかる。また、コンポスト化36時間以前にRun AとCに差がないのはPCLが添加されてもこの時間までは汚泥が優先的に分解されることを示している。2種類以上の基質の存在下で微生物を培養すると、分解されやすい基質から順に分解されることは一般によく知られている。なお、36時間付近からPCL添加の有無で炭素揮散率に差があらわれることを反映し、PCL分解率は36時間以降上昇して、最終的に約52%となった。

Run AとCのコンポスト化におけるアンモニア濃度とpHの経時変化をFig. 5に比較する。上述したとおり、PCLの添加量が多いときにはミニリアクタへの汚泥自身の充填量が少なくなっているが、全ての実験で通気速度は同一としたので、汚泥自身が同じ速度で分解してもPCL混合量が多い実験では発生するアンモニア濃度は低くなる。そこで、アンモニア濃度としては、排気ガス中のアンモニア濃度の実測値を汚泥充填量で割り算して得た換算濃度を用いた。

アンモニア濃度はRun Aでは36時間にピークを持ちその値は約860ppm/g-dsとなった。その後、濃度は低下するが実験終了時までアンモニアは発生し続けた。Run Cでは24時間付近にピークを持ちその値は約370ppm/g-dsとRun Aの半分以下となった。また、Run Cではコンポスト化60時間付近以降アンモニアはほとんど検出されなくなり、官能的にもアンモニア臭は感じられなかった。なお、Run AとCで炭素揮散率に差が生じ始めたのは36時間付近(Fig. 4参照)であったのに対し、アンモニア濃度に差が見られるようになるのは24時間付近と炭素揮散率よりも早くから差を生じている。これは、PCLが炭酸ガスと水にまで完全分解される以前に、

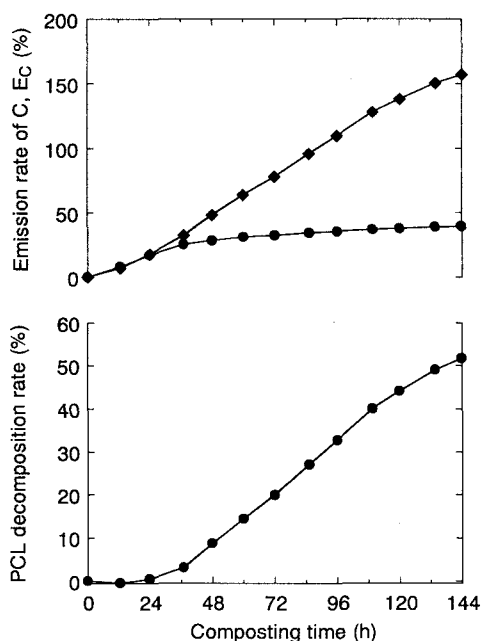


Fig. 4 Changes in the emission rate of carbon, EC for composting of Runs A and C (●; Run A, ◆; Run C), and the PCL decomposition rate for composting Run C calculated from the difference in the CO₂ evolution of Runs A and C.

一旦酸性の分解中間体が生成され、アンモニアを中和、低減していることを示唆するものと考えられた。

Run A の pH はコンポスト化初期を除いて 8 以上の値であったのに対して、Run C では 24 時間過ぎから低下し始め、6.5 付近の値となった。なお、pH が低下し 7 以下になるとアンモニアはほとんど発生しなくなったが、pH 低下に対応してアンモニア濃度も低下していることは、PCL が分解して酸性中間体が生成し、アンモニアを中和することを裏付けている。以上の結果、PCL の添加は汚泥の分解にともなって発生するアンモニア臭を低減するのに有効であることが確かめられた。

3.3 50℃のコンポスト化における PCL 添加量の効果

50℃のコンポスト化において PCL 添加量を変化させたときの炭素揮散率、窒素揮散率、およびアンモニア濃度の経時変化を Fig. 6 に示す。Run A では Fig. 3 に示したとおり、炭酸ガス、およびアンモニアの濃度はともにコンポスト化初期に高く、時間経過にともなって低下するので、炭素揮散率、および窒素揮散率の増加はいずれもコンポスト化後半には緩やかになった。一方、PCL を添加した Run B、C、および D の炭素揮散率は、コンポスト化開始 36 時間付近から Run A よりも高くなり、いずれも 100% を越えるが、最終的な炭素揮散率は PCL の添加量が増加するにともなって高くなった。

Run B は Run A と比較すると、コンポスト化初期のアンモニア濃度のピークが低減され、60～72 時間では、ほとんどアンモニアは検出されなかったが、72 時間以降再びアンモニアが発生するようになった。この時間を過ぎるころから、Run B の炭素揮散率が、PCL 添加量の多い Run C、および D と差を生じ始め、曲線の傾きが減少することを考え合わせると、Run B ではこの時間付近で PCL の活発な

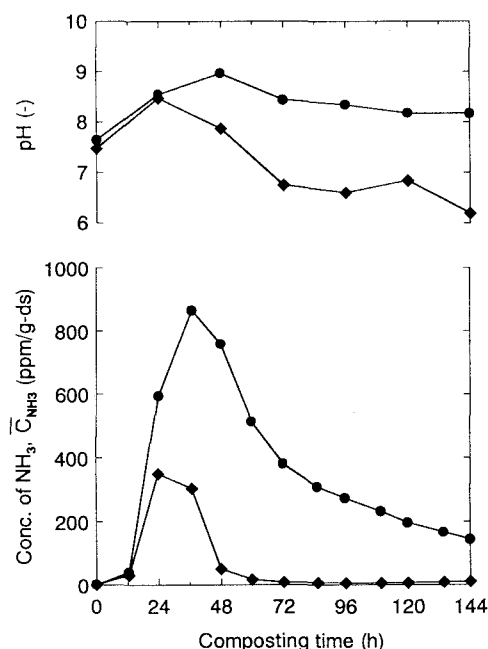


Fig. 5 Changes in the pH value and the ammonia concentration with time for composting of Runs A and C (●; Run A, ◆; Run C).

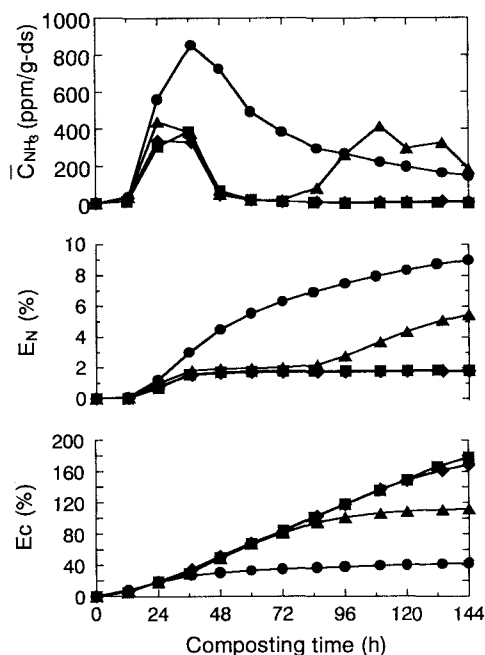


Fig. 6 Time courses of NH₃ concentration, $\bar{C}_{NH_3}$, and the emission rates of carbon, EC, and nitrogen, EN, for composting using different mixing ratios of PCL at 50 °C (●; Run A, ▲; Run B, ◆; Run C, ■; Run D).

分解が終わりつつあることを示すものと考えられた。すなわち、Run B の PCL 添加量では、コンポスト化後半のアンモニア発生を抑制し続けるには不十分であることがわかった。一方、Run C と D ではいずれも 60 時間付近からコンポスト化終了までアンモニアは検出されなくなった。また、この現象に対応して、窒素揮散率は、Run B では一旦平らになっていた曲線の傾きが 72 時間以降再上昇しているが、Run C、および D ではコンポスト化後半にも一定値をとり続けた。

コンポスト原料中に PCL を添加すると C/N 比は増加する (Table 1 参照) が、一般にコンポスト原料の C/N 比が増加すれば、原料中の窒素成分はコンポスト微生物の菌体合成に有効に使用されてアンモニアガスの発生を低減できることが知られている。本研究で観察されるアンモニア臭低減効果は、PCL 分解中間体によるアンモニアの中和と C/N 比調整の各々が、どれだけ寄与しているのかについては今後の詳細な検討が必要であるが、PCL の混合量によらず (すなわち、原料の C/N 比によらず) PCL が分解し pH の低下がおこるコンポスト化途中からアンモニア臭が低減されること、また C/N 比を一定以上大きくしてもアンモニア臭低減効果に影響が小さいことなどから、PCL 分解中間体がアンモニアを中和することの果たす役割は大きいものと考えられた。

コンポスト化温度 50℃では、PCL 添加量を 7 以上にすることでコンポスト化後半のアンモニア発生を抑制することが可能であるが、添加量を増加させてもコンポスト化初期のアンモニア発生を完全に抑制することはできないことがわかった。

3.4 60℃のコンポスト化における PCL 添加量の効果

60℃のコンポスト化において PCL 添加量を変化させたときの炭素揮散率、窒素揮散率、およびアンモニア濃度の経時変化を Fig. 7 に示す。Run a のコンポスト化の経時変化は Run A と値は異なるが同様の变化パターンを示した。Run a の最終的な炭素揮散率は約 51%，Run A では約 40% となり、60℃の方が有機物分解量の多いことがわかる。また、窒素揮散率は Run a、および Run A でそれぞれ約 13.4%，および約 9.0% となり、アンモニア発生量も 60℃の方が多いたことが確かめられた。

PCL 添加量が 3 の Run b では 50℃の Run B と同様、PCL 量が少なすぎてコンポスト化途中からアンモニアは再発生した。また、PCL 添加量が 7 の Run c では、コンポスト化後半のアンモニア発生を完全に抑制することができた。一方、PCL 添加量が 10 の Run d ではアンモニアの発生はコンポスト化全般にわたって極めて少ないが、炭素揮散率が PCL 無添加の Run a よりも小さくなり、汚泥自身の分解が阻害されていたことがわかる。Run d の炭素揮散率は、コンポスト化 24 時間以降からほとんど変化せず、炭素揮散率の最終値も約 19% と低くなった。なお、Run d では PCL が熱によって融解しコンポストが粘調になっていたため、好気条件

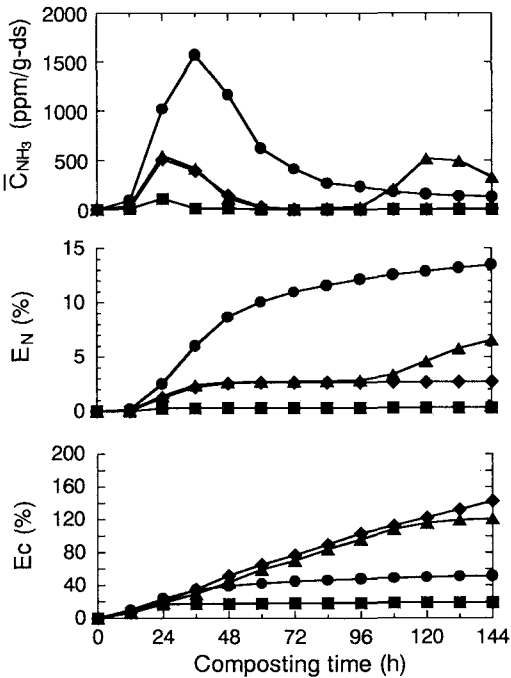


Fig. 7 Time courses of NH_3 concentration, $\bar{C}_{NH_3}$, and the emission rates of carbon, E_C , and nitrogen, E_N , for composting using different mixing ratios of PCL at 60℃ (●; Run a, ▲; Run b, ◆; Run c, ■; Run d).

を維持できなくなり汚泥自身の分解が阻害されたと考えられた。このため、Run dではアンモニア濃度は極めて低くなっているが、汚泥自身の分解が阻害されているのでアンモニア臭低減の優れた操作ということとはできない。

3.5 コンポスト化温度とPCLの最適添加量

Fig. 8に温度が異なるコンポスト化においてPCL添加量を変化させたときの炭素揮散率と窒素揮散率の最終値を比較した。図中の数字は、乾燥重量基準で汚泥5に対するPCLの添加量を示している。コンポスト化温度が50℃のときには、PCL添加量が増加するとPCLの分解にともなって発生する炭酸ガス量が増加するために、炭素揮散率は増加するが、一方でアンモニアはPCLの分解中間体に捕えられて、窒素揮散率の最終値は直線的に減少する。しかしながら、PCL添加量を10にしても7と顕著な差は見られなかった。一方、コンポスト化温度が60℃の場合、PCL添加量が7までは50℃のコンポスト化と同様、炭素揮散率は増加し窒素揮散率は減少するが、PCL添加量が10のときには炭素揮散率は極めて小さくなりコンポスト化が阻害される。コンポスト化温度が50℃のときには、PCL添加量を7以上にしても7と同程度のアンモニア抑制効果しかないこと、および60℃のときには、PCL添加量を10にすると多すぎてコンポスト化そのものを阻害することから、いずれの温度でもPCLの最適添加量は汚泥5に対して7付近にあるものと考えられた。なお、PCL添加量が7までのコンポスト化における炭素揮散率と窒素揮散率の関係を示す曲線の傾きは、60℃の方が大きく、60℃の方がPCL添加の影響が大きいことがわかった。

ここに示したとおり、PCLを用いてアンモニア臭を低減するためには、多量のPCLをコンポスト原料に添加する必要がある。生分解性プラスチックを添加してアンモニア臭を低減する方法の実用化のためには、少量の添加でも効果がある生分解性プラスチックの開発が有効と考えられる。コンポスト原料として家庭から排出される厨芥類を用いることを想定したときにも、東京都区部における家庭ごみは湿重量基準で厨芥類が29.9%、プラスチック類が7.0%という調査結果²⁶⁾もあるので、家庭ごみ中に含まれるプラスチックの一部を生分解性プラスチックに変えたり、厨芥類を収集する袋を生分解性プラスチック製にするなどの方法で十分に効果のあるプラスチックが開発されれば、この方法の普及促進に大きな貢献が期待できる。

4. 結論

コンポスト原料に生分解性プラスチックであるPCLを添加することによって、コンポスト化後半におけるアンモニア臭を低減することができた。これは、PCLがコンポスト化過程で分解して生じる分解中間体がアンモニアを中和するためと考えられたが、PCLはその分解が汚泥に比べて遅れるため、PCLの添加量を増加させてもアンモニア臭の発生をコンポスト化初期から完全に抑制することはできなかった。また、アンモニア臭低減効果におけるコンポスト化温度の影響を検討したところ、温度によって低減効果に及ぼ

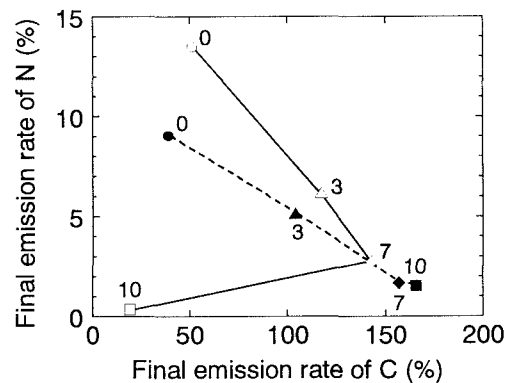


Fig. 8 Relationship between final emission rates of carbon and nitrogen for compostings with different PCL mixing ratios and temperatures (●; Run A, ▲; Run B, ◆; Run C, ■; Run D, ○; Run a, △; Run b, ◇; Run c, □; Run d). Numbers in the figure represent the PCL mixing ratio.

すPCL添加量の影響は異なるものの、良好な低減効果のためにはPCLの添加割合はコンポスト化温度によらず、汚泥5に対して7付近にあることが確かめられた。

参考文献

- 1) A. K. Lau, M. P. Bruce and R. J. Chase : Evaluating the Performance of Biofilters for Composting Odor Control, *J. Environ. Sci. Health Part A*, Vol. 31, pp. 2247-2273, 1996.
- 2) T. Dewes : Effect of pH, Temperature, Amount of Litter and Storage Density on Ammonia Emissions from Stable Manure, *J. Agric. Sci.*, Vol. 127, pp. 501-509, 1996.
- 3) K. Kuroda, T. Osada, M. Yonaga, A. Kanematu, T. Nitta, S. Mouri and T. Kojima : Emission of Malodorous Compounds and Greenhouse Gases from Composting Swine Feces, *Biores. Technol.*, Vol. 56, pp. 265-271, 1996.
- 4) P. J. L. Derikx, H. J. M. Op den Camp, C. van der Drift, L. J. L. D. van Griensven and G. D. Vogels : Odorous Sulfur Compounds Emitted during Production of Compost Used as a Substrate in Mushroom Cultivation, *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 56, pp. 176-180, 1990.
- 5) P. J. L. Derikx, F. H. M. Simons, H. J. M. Op den Camp, C. van der Drift, L. J. L. D. van Griensven and G. D. Vogels : Evolution of Volatile Sulfur Compounds during Laboratory-scale Incubations and Indoor Preparation of Compost Used as a Substrate in Mushroom Cultivation, *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 57, pp. 563-567, 1991.
- 6) H. J. M. Op den Camp, A. Pol, C. van der Drift, G. D. Vogels, J. P. G. Gerrits and L. J. L. D. van Griensven : Production of Odorous Sulphur Compounds during Indoor Compost Preparation and Overview of Possible Air Treatments, In T. J. Elliott (Ed.), *Science and Cultivation of Edible Fungi*, Balkema, Rotterdam, pp. 181-187, 1995.
- 7) N. Goldstein : Odor Control Experiences: Lessons from the Biofilter, *BioCycle*, Vol. 37, pp. 70-74, 1996.
- 8) 鈴木一好, 板垣真木 : 乾燥させた生ごみのコンポスト化に関する研究, 廃棄物学会第6回研究発表会講演論文集, pp. 187-189, 1995.
- 9) 小林達治 : コンポストの原理, 環境技術, Vol. 22, No. 9, pp. 27-30, 1993.
- 10) 道宗直昭 : 畜産悪臭の微生物利用脱臭施設の運用と実際 (1), 畜産の研究, Vol. 44, pp. 224-229, 1990.
- 11) 道宗直昭 : 畜産悪臭の微生物利用脱臭施設の運用と実際 (2), 畜産の研究, Vol. 44, pp. 298-299, 1990.
- 12) 大迫政浩, 樋口能士, 田中勝 : アンケート調査にもとづく生物脱臭法の技術的評価 (その1), 臭気の研究, Vol. 25, No. 3, pp. 50-53, 1994.
- 13) 大迫政浩, 樋口能士, 田中勝 : アンケート調査にもとづく生物脱臭法の技術的評価 (その2), 臭気の研究, Vol. 25, No. 4, pp. 45-51, 1994.
- 14) 大迫政浩, 樋口能士, 田中勝 : アンケート調査にもとづく生物脱臭法の技術的評価 (その3), 臭気の研究, Vol. 25, No. 5, pp. 40-43, 1994.
- 15) Y. Ohta and M. Ikeda : Deodorization of Pig Feces by Actinomycetes, *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 36, pp. 487-491, 1978.
- 16) 太田欽幸, 桑田行男 : 微生物による厨芥の無臭化, 醗酵工学, Vol. 61, pp. 195-200, 1983.
- 17) Y. Ohta and Y. Kuwada : Rapid Deodorization of Cattle Feces by Microorganisms, *Biological Wastes*, Vol. 24, pp. 227-240, 1988.
- 18) K. Nakasaki, H. Kuratomi, H. Wakizaka, R. Hiyama and N. Akakura : Quantitative Analysis of Ammonia and Odorous Sulphur Compounds Evolved during Thermophilic Composting, *Waste Manage. Res.*, Vol. 16, pp. 514-524, 1998.

- 19) 中崎清彦, 倉富英一, 脇坂裕昭, 桧山玲子, 藤江幸一 : コンポスト化温度が悪臭発生量に与える影響, 廃棄物学会論文誌, Vol. 10, pp. 9-15, 1999.
- 20) 大滝昭仁, 高野博幸, 佐藤岳, 渡辺正臣, 中崎清彦 : し尿汚泥のコンポスト化における操作条件とアンモニア発生量の関係, 環境技術, Vol. 28, pp. 43-49, 1999.
- 21) K. Nakasaki, A. Ohtaki and H. Takano : Biodegradable Plastic Reduces Ammonia Emission during Composting, Polym. Degrad. Stab., Vol. 70, pp. 185-188, 2000.
- 22) A. Ohtaki, N. Sato and K. Nakasaki : Biodegradation of Poly-ε-caprolactone under Controlled Composting Conditions, Polym. Degrad. Stab., Vol. 61, pp. 499-505, 1998.
- 23) A. Ohtaki and K. Nakasaki : Ultimate Degradability of Various Kinds of Biodegradable Plastics under Controlled Composting Conditions, Waste Manag. Res., Vol. 18, pp. 184-189, 2000.
- 24) A. Ohtaki and K. Nakasaki : Comparison of the Weight-loss Degradability of Various Biodegradable Plastics under Laboratory Composting Conditions, J. Mater. Cycles Waste Manage., Vol. 2, pp. 118-124, 2000.
- 25) A. Ohtaki, N. Akakura and K. Nakasaki : Effect of Temperature and Inoculum on the Degradation of Poly-ε-caprolactone during Composting, Polym. Degrad. Stab., Vol. 62, pp. 279-284, 1998.
- 26) <http://www.cjc.or.jp/school/sub01/house05.htm>.