

(20) 高温好気法における下水汚泥の生物酸化分解性評価

Determining Biological Oxidation of Sewage Sludge under Thermophilic Oxidic Process

楊 瑜芳*、山口恭右*、津村和志*、内藤正明*

Yufang YANG*, Kyosuke YAMAGUTHI*, Kazushi TSUMURA*, Masaaki NAITO*

ABSTRACT; Oxygen uptake rate was considered as an index for determining the biodegradability of sewage sludge under thermophilic oxidic process. The degradation efficiency of sewage sludge was examined from the difference of oxygen consumed in two experiments in which waste food oil, the mixture of waste food oil and sewage sludge were added, respectively. The sewage sludge was more degradable than waste food oil, and was degraded firstly from the difference of oxygen consumed in initial period of thermophilic oxidic process. At the same conditions of addition with waste food oil, the total degradation efficiencies for each test were certified as 62.7%, 86.8%, and 82.4% respectively. Excepting the waste food oil, the degradation efficiencies for excess sludge, thickened sludge and dewatered sludge cake were 99.4%, 99.6% and 82.1% respectively. Larger than 80% of degradation efficiency was determined when the C/N ratio of mixture was adjusted to 20.

KEYWORDS; thermophilic oxidic process, sewage sludge, oxygen uptake rate, degradation efficiency

1. はじめに

都市生活の高質化、下水処理の普及、高度処理の導入などが進むのに伴い、下水汚泥の発生量は年々増加しており、平成7年度の年間発生量は169万Ds-tに達している¹⁾。下水汚泥の資源化のためコンポストは一つの有効な対策である。しかし、下水汚泥のコンポスト化は広く普及するに至っていないのが現状である。その理由の一つに、農地に対するコンポストの需要期が一年間にわずか1~2回であり、下水処理場に毎日発生した汚泥をコンポスト化しても、需給のバランスが取りにくい。このため、平成7年度下水汚泥のうち約8%はコンポスト化処理されているが、今後の大幅な導入は実施されにくいと考える。現在大部分は、焼却、埋立によって処理されている。汚泥は一般に含水率が高く、焼却処分には多量のエネルギーを必要とし、さらには将来的に発生量の増加も見込まれている。

近年になって、下水汚泥の処理問題は好気性微生物によって分解を行う高温好気処理法の開発によって解決が模索されるようになってきた。高温好気処理法は好気条件下で微生物により有機物を分解する手法である²⁾。この点ではコンポスト化との違いはない。しかし高温好気法の処理には、高濃度有機排水を対象としたため、投入した杉チップの割合はコンポスト化に添加した副資材のと大きく異なる。ここで投入する杉チップは担体と呼ばれ、下水汚泥の水分を吸収して含水率を調整すると共に、微生物の住みかにもなっている³⁾。これは、従来のコンポスト化技術における、原料の水分と有機物の調整が困難である、ということに対する解決策を提示している。

高温好気法により、焼酎排水や下水汚泥等の有機性廃棄物を処理した事例が報告されている³⁾⁴⁾。この方式の特長は、高温菌により有機物を二酸化炭素まで分解し、有機物の生物分解熱により水分を蒸発させる“完

*:京都大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Kyoto University

全処理”を目指すことである。すなわち、含水率の高い有機性廃棄物の処理に適用される。下水汚泥の高温好気処理においては、有機物分解熱により含有水分を完全に蒸発させるのが困難であるため、熱源として廃食用油を加えて反応させることが多かった。しかし、その中の下水汚泥の有機成分が、どの程度完全分解しているかを調べる必要がある。

そこで、本研究においては、酸素消費速度を反応指標として用い、高温好気法における熱源を入れた条件下で下水汚泥の生物酸化分解性に関する検討を行った。有機物が好気性微生物の作用によって分解されるためには酸素の供給が必要であるため、反応槽に廃油のみ投入した場合と、廃油と汚泥の混合物を投入した場合の二通りの実験を行い、両者の酸素消費量の差から汚泥の分解率を求めた。

2. 実験方法

2.1 実験原料

下水処理場から発生する下水汚泥の種類およびその性質は、採用されている下水の排除方式、下水処理プロセスおよび汚泥処理プロセスに依存するが、ここでは、二槽式間欠曝気活性汚泥処理法を用いた生活廃水処理プロセスで発生した下水汚泥を用いた。余剰汚泥は最終沈殿池からの返送汚泥で含水率が99.2%であり、重力式で濃縮された濃縮汚泥は固形物濃度 5%程度となった。脱水プロセスでは、77.6%まで含水率を下げた。その他の性質については Table 1 に示した。汚泥の平均発熱量は $4445 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ds}$ である。余剰汚泥、濃縮汚泥の pH 値は 6.5~7.0 で、ほぼ中性である。脱水汚泥の pH 値は 4.8 であり、値が低いのは脱水の過程において高分子凝集剤(KP-1207B, ポリアクリル酸エステル系)を添加しているためと思われる。汚泥の BOD_5 は $100 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{ds}$ 前後で生物分解されやすい有機物を多く含んでいるため、下水汚泥に対し生物処理法を適用し、省エネルギー型汚泥処理・再利用を行うことが一番望ましいと思われる。

下水汚泥の含水率は高く、反応の熱収支および物質収支計算により多量の水分蒸発が求められるため、汚泥のみの有機物を分解する時に発生した熱量では不足している。そのため、他の熱源の添加が必要であると考えられる。実験用の熱源としては Table 2 に示す家庭から回収した廃食用油とした。日本では廃食用油の年間総発生量は 37~46 万トンと見込まれる上⁵⁾、廃食用油の BOD は非常に高濃度であるため、家庭における廃食用油の排水中への排出は、排水の汚濁負荷量の著しい増加につながる。廃食用油による環境負荷の軽減、資源の有効利用、ゴミの減量化などの観点から、生物燃料として廃食用油を利用できると思われる。

2.2 高温好気法装置

実験装置は市販される家庭用生ゴミ高温発酵容器、好気タンク KT100 型(株)イワタリイト)を若干改造したものである。Fig.1 に示す実験用の装置容積が 100ℓ、有効容積が 70ℓである。このステンレス製の円筒型反応槽は攪拌装置、通気用エアポンプ、排気ファンが付いている。攪拌は 1~12 時間間隔、1~3 分間の自動設定が、通気量は $0 \sim 25 \text{ ℓ} \cdot \text{min}^{-1}$ の範囲で、排気ファンの回転数を変えることにより吸引量が $0 \sim 160 \text{ ℓ} \cdot \text{min}^{-1}$

Table 1 Characteristics of sewage sludge for test

Items	Excess sludge	Thickened sludge	Dewatered sludge cake
Moisture content (%)	99.2	95.42	77.63
Volatile matter (%)	77.4	70.89	70.22
BOD_5	1200 (mg/l)	100,000 (mg/kg-ds)	93,000 (mg/kg-ds)
pH	6.5~6.8	6.5~7.0	4.8
Calories (kcal/kg-ds)	4460	4500	4375
TOC	1800 (mg/l)	422,000 (mg/kg-ds)	422,000 (mg/kg-ds)
T-N	530 (mg/l)	84,200 (mg/kg-ds)	84,200 (mg/kg-ds)
P_2O_5	530 (mg/l)	450 (mg/kg-wet)	450 (mg/kg-wet)
K_2O (mg/kg)	160	5000	5000

Table 2 Characteristics of waste food oil

BOD_5 (mg/kg)	1,365,000
Calories (kcal/kg)	9487
TOC (mg/kg)	760,000
T-N (mg/kg)	N.D.

の範囲で調節が可能である。また反応槽からの放熱を防ぐために、周りを発泡スチロールで覆った。

反応槽内の温度は中央部分に温度センサーを差し込んで測定した。さらに上蓋の排気ファン付近と反応槽の外部側面に酸素センサーを取り付け、酸素濃度を測定した。反応槽全体は重量計に乗せ、混合物の重量変化を測定した。温度、酸素濃度、重量はコンピュータで1分毎経時記録した。2日に1回の投入と共に原料および反応後の混合物のサンプルを採取し、下水汚泥分析方法⁹⁾に準拠して含水率、強熱減量の測定を行った。

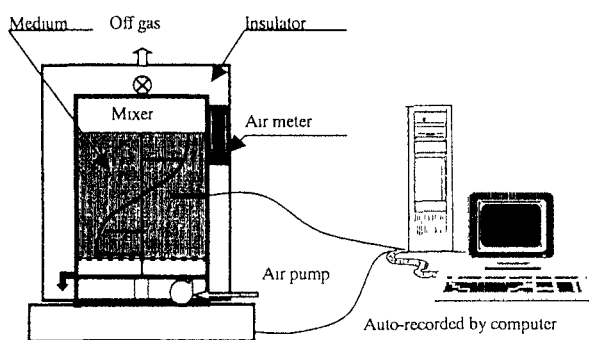


Fig.1 Flow diagram of thermophilic oxic process for treatment of excess sewage sludge

2.3 廃食用油のみの高温好気法処理

高温好気法では廃食用油を熱源として添加した有機排水の処理が多くなされている。しかし、混合した原料の分解性や反応メカニズムの解明に関する研究は稀少である。本研究では、廃食用油のみと廃食用油を添加した汚泥の二通りの実験を行うことにより下水汚泥の有機分解特性を評価する。そのために、ブランク実験として廃食用油のみの高温好気法処理を行った。生物反応には水の存在、酸素の供給および栄養物の供給が不可欠な要素であるが、廃食用油の含水量がゼロに近い場合、蒸留水を用いて反応槽内の含水率を調整する。また、栄養物として廃食用油の炭素は十分に存在するのに対し、窒素のバランスが取れないと思われるため、一回目の投入では米ぬかを加えた。米ぬかは窒素、リンを多く含み、廃食用油と比べて微生物により分解されやすいため、初期の菌体数増加にも適していると考えられる。

実験開始時には担体である杉チップ、種菌を持つ杉チップ一割、合わせて70ℓを反応槽内に投入し、一回目の投入では0.32kgの廃食用油に加えて0.93kgの米ぬかを投入した。二回目からは廃食用油のみ、2日に1回0.62kg投入し、12時間毎一回の攪拌を行った。投入物のBOD負荷が $6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{day}^{-1}$ 、投入後の反応槽内混合物の水分が55%となるように蒸留水を補給した。また、通気量は $300 \text{ l} \cdot \text{m}^{-3}\text{min}^{-1}$ とした。このような廃食用油のみの実験（実験1）を2週間連続で行った。

2.4 下水汚泥の高温好気法処理

一般に汚泥に含まれる有機物を分解する時、汚泥の水分が低いほど処理設備容量は小さくてすむ。しかし、その一方で汚泥の結合水量が増すため、水分の蒸発は困難になると予想される。本実験では、高温好気法装置を用いてBOD負荷・含水率一定のもとで水分の異なる下水汚泥を処理し、各汚泥性状について有機物分解特性を検討するため、廃食用油を添加した下水汚泥（余剰汚泥、濃縮汚泥、脱水ケーキ）を前述と同じ操作で2日に1回を1サイクルとして投入し、2週間ずつ実験を行った。余剰汚泥の実験は実験2、濃縮汚泥の実験は実験3、脱水ケーキの実験は実験4と呼ぶことにする。

高温好気処理法は生物処理法であるため、微生物に対して最適環境を作るのが重要である。高温好気処理法の文献により試料の有機物負荷はBOD負荷 $6 \sim 8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{day}^{-1}$ の範囲で、含水率が50～60%の範囲になる時が反応の最適条件であると考えられるため⁹⁾、いずれの実験についても投入物のBOD負荷が $6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}\text{day}^{-1}$ 、投入後の反応槽内混合物の水分が55%となるように決定した。また、すべての実験を通して通気量は $300 \text{ l} \cdot \text{m}^{-3}\text{min}^{-1}$ とした。吸引量は排気ファンの回転数を変えることにより調節できるので、ほぼ $300 \text{ l} \cdot \text{m}^{-3}\text{min}^{-1}$ となる回転数に設定した。

2.5 酸素消費速度および有機物の分解率の試算方法

高温好気法反応のメカニズムの解明および適切な操作を明らかにするために、反応の計測化が重要となった。コンポスト化する時、「酸素要求速度は試料の分解速度を示す指標である」ということを藤田らは検討した⁷⁾。高温好気法処理における、Zhu らは、反応後余剰汚泥の発生量が極めて少ないと報告しており、有機物が完全酸化されているといってもよい⁸⁾。酸素消費量は微生物の呼吸量であり、最も基本的な指標でもあるため、本研究では、各実験において連続的に計測し酸素濃度に基づき酸素消費速度および有機物の分解率を求めた。

まず、酸素消費速度 R_{O_2} は、

$$R_{O_2} = \frac{f}{W_{VS}} (C_{O_{2in}} - C_{O_{2out}}) \quad (1)$$

によって求められる。ここで、通気および排気中の酸素濃度 C_{O_2} は

$$C_{O_{2in}} = \frac{M_{O_2} PX_{O_{2in}}}{100R(273.15 + \theta_{in})} \quad (2)$$

$$C_{O_{2out}} = \frac{M_{O_2} PX_{O_{2out}}}{100R(273.15 + \theta_{out})} \quad (3)$$

である。

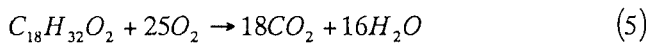
ただし、 f : 通気量(m^3/hr)、 W_{VS} : 投入した有機物量(kg-VS)、 $X_{O_{2in}}$ $X_{O_{2out}}$: 通気と排気中の酸素濃度(%)、 $C_{O_{2in}}$ $C_{O_{2out}}$: 通気と排気中の酸素濃度(gO_2/m^3)、 θ_{in} θ_{out} : 通気と排気の温度($^{\circ}C$)である。

次に、有機物の分解率 R_{VS} を次のように定義する。

$$R_{VS}(\%) = \frac{OU}{ThOD \times W_{VS}} \quad (4)$$

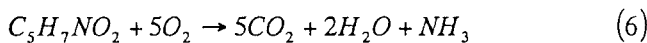
ここで、 OU (Oxygen Uptake)は酸素消費量の実験値(kgO_2)、 $ThOD$ (Theoretical Oxygen Demand)は有機物 1kg を分解するのに必要な理論的酸素量である。

一方、使用した廃食用油 75%の脂肪酸はリノール酸であるが、これは好気性微生物によって次式に示されるように分解される⁹⁾。



この式から、1kg の廃食用油を分解するには 2.86kg 酸素量が必要である。

また、生物性汚泥について理論的酸素消費量を計算すると、



これより汚泥の $ThOD$ が $1.42kg O_2/kg\text{-}vs$ となる。

最終的には下水汚泥と廃食用油の合計の有機物を分解する際に消費された酸素量から添加した廃食用油の酸素消費量を差し引いて、汚泥のみの酸素消費量を求め、汚泥の有機分解率を得た。

3. 結果と考察

3.1 温度・酸素消費速度変化からみた汚泥の分解性

前述の式(5),(6)の微生物反応はいずれも放熱反応であり、投入した有機物は担体に住み込む好気性微生物により分解され、その際に酸素を消費し、エネルギーを放出する。そのエネルギーにより反応槽内の温度は上昇するのである。高温好気法は生物反応であるため、酸素消費速度は反応速度と考えてよい¹⁰⁾と思われる。

る。本実験においては、酸素計を用いて反応槽内の酸素濃度を測定し、同じ実験条件下での汚泥の酸素消費速度によって反応特性を把握した。

Fig.2 にはブランク実験として廃食用油のみを投入した時の反応温度と酸素消費速度の経時変化を示す。実験開始 10 時間後最高温度 58℃に達した。酸素消費速度は温度と同じパターンで起こったことがわかる。Fig.3 の実験 2 では廃食用油を添加した余剰汚泥を投入した。余剰汚泥の含水率が 99.2%と高く、有機物含有量がわずかであるため、温度の変化と酸素消費速度の変化は実験 1 の変化曲線とよく似ているが、試料投入後反応がピークに達してからサイクルの終わりまでほぼ一定を保っている。また、Fig.4 の実験 3 では濃縮汚泥と廃食用油を投入した 4 時間後、槽内温度 58.5℃に達した。次の投入までも高温状態を維持している。さらに、酸素消費速度は $52.7\text{g} \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ になったため、著しい反応が進んだと考えられる。一方、Fig.5 の実験 4 では脱水ケーキと廃食用油を投入してから、最高温度が 70℃以上に達した。これは、いずれの実験も投入有機物負荷 (BOD 負荷) と投入後混合物の含水率が一定になるように操作したが、脱水ケーキの含水率が低いため、計算した汚泥の投入量が多めになり、脱水ケーキ中の易分解性有機物量も多くなって、初期反応は著しく、明らかに温度上昇していることが示された。このことから、高温好気法前半における温度の上昇に顕著な差がみられ、汚泥の分解は高温好気法前半におこることが推測できる。

Fig.6 には各実験の酸素消費速度の経時変化が示されている。実験 3 (濃縮汚泥実験) と実験 4 (脱水ケーキ実験) との場合は、反応初期において酸素消費速度変化が速く、反応がピークに達してから明らかに下降している。一方、実験 1 (廃食用油実験) と実験 2 (余剰汚泥実験) の酸素消費速度変化はほぼ同じ動きが見られる。熱源として用いた廃食用油は下水汚泥より微生物によって分解されにくいと思われるが、2 日間のサイクルの中で投入した汚泥の有機分は速いうちに分解されてしまい、その後は残っている廃食用油の分解を行っていると考えられる。

3.2 酸素消費量から計算した汚泥の分解性

有機物の好気性発酵では微生物の増殖に伴って酸素が消費されるため、高温好気反応状態で、いわゆる対数増殖期においては、酸素消費速度は微生物の増殖速

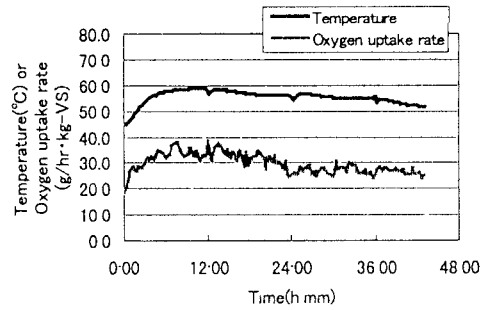


Fig.2 Time course changes of temperature and oxygen uptake rate during the test of waste food oil

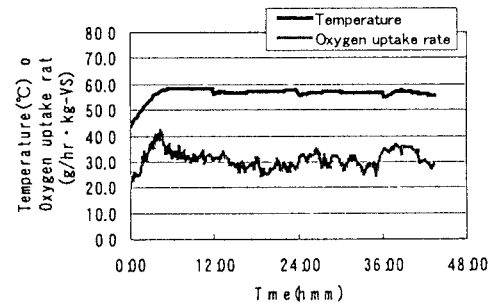


Fig.3 Time course changes of temperature and oxygen uptake rate during the test of excess sludge and waste food oil

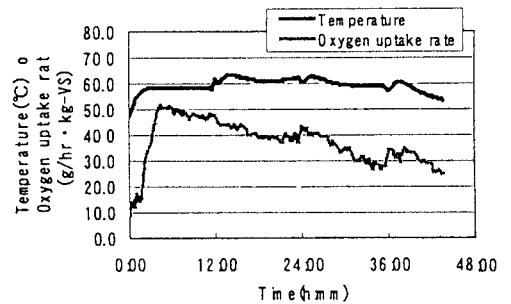


Fig 4 Time course changes of temperature and oxygen uptake rate during the test of thickened sludge and waste food oil

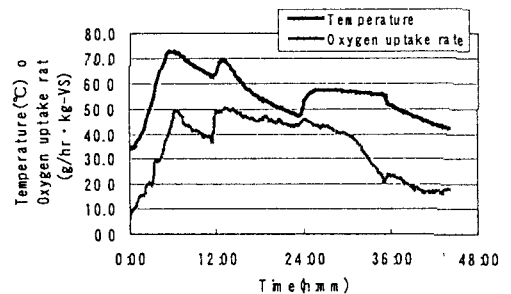


Fig.5 Time course changes of temperature and oxygen uptake rate during the test of dewatered sludge cake and waste food oil

度に比例すると考えてよい¹⁰⁾。この酸素消費量の値から投入した有機物の生物分解率を求めることができる。

前述のように混合物を投入した後、最初反応期において主な下水汚泥が分解されたのは下水汚泥が廃食用油にくらべ易分解性有機物であるためと考えられる。いずれの実験でも1サイクルを2日に設定し、2週間連続で行われているが、この1サイクルで投入した有機物が次のサイクルに蓄積している可能性があるため、2週間のトータル酸素消費量を用いて計算することにした。

Fig.7 には、各実験における2週間のトータル酸素消費量と投入した有機物（下水汚泥、廃食用油）総量から計算された 1kg の有機物に対しての酸素消費量を示した。理論上で 1kg の廃食用油および下水汚泥を分解するには酸素量がそれぞれ 2.86kg、1.42kg 要求される。実験値 1 により廃食用油のみを分解する酸素消費量は $1.64\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{-vs}$ となった。すなわち廃食用油のみの有機物分解率は 57%となることから分かる。次に、廃食用油を加えた下水汚泥の実験における廃食用油の分解率は廃食用油のみの分解率より上昇したことが推測される。その理由は、下水汚泥の中には炭素以外の栄養分を多く含み、微生物の活性がよくなったためと考えられる。特に投入物の C/N 比は廃食用油の分解率に影響を及ぼすため、吉田らは廃食用油の分解率と投入物の C/N 比との関係を確かめた¹¹⁾。本実験では、廃食用油の分解率については油分量を分析せず吉田らの C/N 比と廃食用油の分解率に関する文献値より実験 2 では 61%、実験 3 では 83%、実験 4 では 83%と算定することにした。

Fig.8 には各実験における有機物の分解率を示す。これは理論的酸素要求量と実験で実際に消費された酸素量を比較して有機物の分解率を求めた。Fig.8 に示すように下水汚泥と廃食用油を混合した有機物の分解率について、実験 2 では 62.7%、実験 3 では 86.8%、実験 4 では 82.4%となった。2 週間実験値によって濃縮汚泥実験では有機物の分解率が一番高かったことが分かる。また、下水汚泥については余剰汚泥の分解率は 99.4%であり、濃縮汚泥は 99.6%、脱水ケーキは 82.1%で

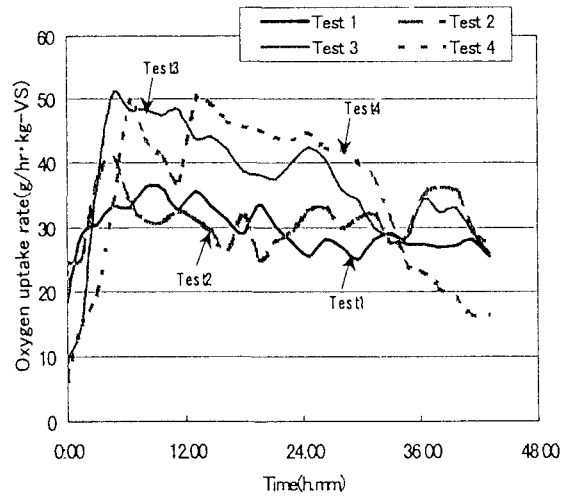


Fig.6 Time course changes of oxygen uptake rate in each test

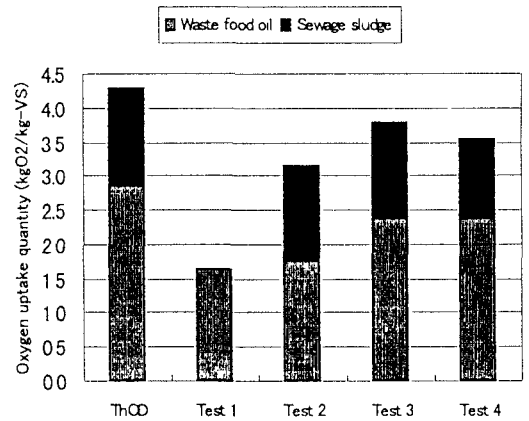


Fig.7 Oxygen uptake quantity in each test

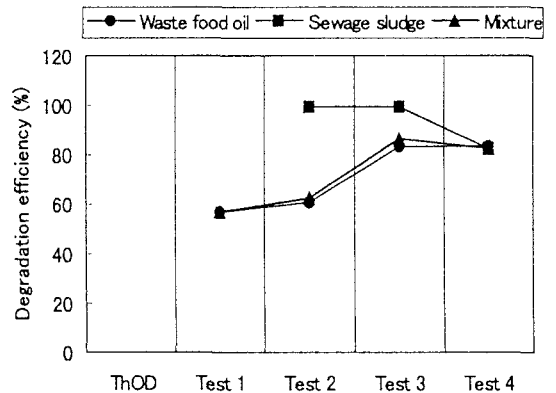


Fig.8 Degradation efficiency in each test

あった。これより、余剰汚泥と濃縮汚泥中の有機物のほとんどが分解されたとと言える。一方、脱水ケーキについては Fig.5 に示すように初期反応は著しく、槽内温度が 70℃まで上昇しているが、初期の水分蒸発量が多かったため、反応後期に脱水ケーキからの水分供給が不十分となり、生物の増殖を障害して、反応速度を低下させたことが考えられる。

今回の実験では有機物の分解率を酸素消費量から計算した。濃縮汚泥実験の場合、混合物の有機物分解率と濃縮汚泥の有機物分解率は両方とも一番高かった。この結果から、同じ有機物負荷、含水率条件下でも微生物に対して特に濃縮汚泥中の水分および栄養分がよく利用され、微生物の活性が高くなったことが分かる。

3.3 C/N の影響による汚泥の分解性

好気性生物反応には水の存在、酸素の供給および栄養物の供給が不可欠な要素であるため、いずれの実験についても投入物の BOD 負荷が $6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ 、投入後の反応槽内混合物の水分を 55%、通気量は $300 \text{ l} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ となるようにしたが、実験の結果より汚泥の種類によって有機物の分解過程に違いが見られた。C/N 比が 100 以上の余剰汚泥実験では、窒素は汚泥からのわずかな含有量しかないので、窒素不足により微生物の増殖を阻害し、有機物分解率が低下することが分かる。濃縮汚泥実験では、投入物の C/N 比が 20 であり、炭素と窒素の分解は同時に進行し、有機物分解率は 86.8%となった。脱水ケーキと廃食用油を投入したときの C/N 比が 7 の場合も有機物分解率が 82.4%となったことが分かった。

以上の結果より、投入有機物の分解率は窒素、リンといった微生物の栄養源の相乗効果に関係があると思われるが、高温好気法における廃食用油を加えた下水汚泥の処理について、投入物の C/N 比が 7~20 の場合は、有機物の分解率が 80%以上になることが分かった。今後の高温好気法実験では C/N 比を調整することにより有機物の分解率を向上させることができると考えられる。

4. おわりに

高温好気法を用い、投入物の有機物負荷一定、投入直後の含水率一定の条件下で下水汚泥の処理を行ったところ、汚泥性状により温度の変化および酸素消費速度が異なった。温度の変化は実験装置の特性や試料物性の影響を受けるため、ここでは酸素消費速度を指標として利用し、下水汚泥の酸化分解性を評価した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 酸素消費速度の経時変化により濃縮汚泥と脱水ケーキの処理実験の場合は、最大酸素消費速度が高く、微生物によって有機物が明らかに分解された。また、高温好気法前半における酸素消費速度の差がみられ、下水汚泥の有機物は廃食用油より生物分解され易く、汚泥の分解は高温好気法前半におこることがわかった。
- 2) 次に、理論的酸素要求量と実験で実際に消費された酸素量を比較して求めた全有機物の分解率については、余剰汚泥実験（余剰汚泥+廃食用油）では 62.7%、濃縮汚泥実験（濃縮汚泥+廃食用油）では 86.8%、脱水ケーキ実験（脱水ケーキ+廃食用油）では 82.4%だった。2 週間実験値によって濃縮汚泥実験は有機物の分解率が一番高かったことが分かる。また、下水汚泥については余剰汚泥の分解率は 99.4%であり、濃縮汚泥は 99.6%、脱水ケーキは 82.1%であったため、余剰汚泥と濃縮汚泥ではほとんどが分解されたと考えられる。
- 3) 今回の実験では投入物の BOD 負荷を $6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ 、投入後の反応槽内混合物の水分を 55%、通気量は $300 \text{ l} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ となるようにしたが、実験の結果より汚泥の種類によって有機物の分解過程は異なることが分かった。C/N 比は有機物の分解率に影響を及ぼすため、高温好気法における廃食用油を加えた下水汚泥の処理において投入物の C/N 比が 7~20 の場合は、有機物の分解率が 80%以上になることが分かった。今後の高温好気法実験では C/N 比を調整することにより有機物の分解率を向上させられると考えられる。

参考文献

- 1) 筒井誠二：下水污泥処理総合計画について、再生と利用、Vol. 21, No.78, 24-29(1998)
- 2) 森忠洋、劉宝綱、趙敬淑：高温好気法による高濃度有機排水処理－有機物の完全酸化と蒸発－、化学工業、Vol.11, 52-58 (1993)
- 3) Liu B.G. and Mori T. : Complete Treatment of Shochu Processed Wastewater by Thermophilic Oxidic Process, Proc. Env. Eng., 30, 165-174(1993)
- 4) Cai H.L. and Mori T. : Treatment of Thickened Excess Sewage Sludge by Thermophilic Oxidic Process. Proc. Of Environ. Eng. Res. Vol. 32, 371-378 (1995)
- 5) 桜井敏郎：廃食用油の発生量と生活排水への汚染負荷量、環境技術、Vol.26, No.3, 152-154 (1997)
- 6) 下水污泥資源利用協議会「下水污泥分析方法 改訂増補版－1996年－」
- 7) 藤田賢二：コンポスト化技術、技報堂出版 1993 年
- 8) Zhu L. P., Kozaki Y., Agari Y., Sato T., Yosita And Mori T.: Decomposition of Algae Sludge by Thermophilic Oxidic Process. Jap. Jour. Of Wat. Treat. Biology. Vol. 32, No.4, 221-234(1996)
- 9) 後藤良造、世良明：生命科学のための有機化学、東京化学同人(1978)
- 10) 金子栄廣、藤田賢二、堆肥化反応における水分の限界に関する研究、土木学会論文集、No.369/II-5、303-309(1986.5)
- 11) 吉田 勲、猪迫 耕二、朱 列平、藤田元夫：高温好気法による食用廃油の生物燃焼処理、農業土木学会論文集、No.192, 161-166(1997.12)