

氏 名	Hsu 徐	Ting 錠	Chi 基
授 与 学 位	工 学 博 士		
学位授与年月日	昭和 56 年 9 月 9 日		
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項		
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 土木工学専攻		
学位論文題目	活性汚泥による油分の分解に関する基礎的研究		
指 導 教 官	東北大学教授 松本順一郎		
論 文 審 査 委 員	東北大学教授	松本順一郎	東北大学教授 佐藤 敦久
	東北大学教授	須田 颯	東北大学教授 只木 楨力
	東北大学助教授	野池 達也	

## 論 文 内 容 要 旨

油は現代工業にも，人間生活にも今やなくてはならない存在になっている。しかしながら，油は皮肉にもわれわれ地球の生態学的バランスをくずす最大の汚染物質にもなっている。特に，近年来，油による汚染が生活環境に及ぼす影響はますます重大な問題となって来ており，油分の処理に関する研究の一層の発展が期待されている。

一般に，有機性物質の除去に対する生物学的処理法のうち，活性汚泥法は最も優れた方法として広く採用されている。しかし，従来の標準活性汚泥法では，排水中に含まれている油分の処理に対して，余り効果がなく，処理場における活性汚泥の活性が油分によって阻害され，処理水水質が悪化して処理が困難になるなど多くの問題が引き起こされている。このため，活性汚泥による油分の分解挙動の解明は，油分の処理法の向上の上で重要である。

現在，油分のうち石油や鉱物油については，それらが引き起こす水質汚濁が社会的に大きくとりあげられ，多くの研究が行なわれている。これに対し，生活関連排水を主体とする都市下水中の油分は主として動植物油と考えられ，これが下水処理過程で，活性汚泥によってどのように分解されるかという点については十分な知見が得られていない現状である。そこで，本研究では，油分のうち代表的な植物油であり，組成が比較的単純なオリーブ油を取りあげ，活性汚泥によるオリーブ油の分解を総括的にとらえたのち，更なる加水分解および酸化段階についても検討を

加えた。

本論文は7章から構成されている。

## 第1章 総論

本章では、本研究の目的と内容について述べた。

## 第2章 油分の抽出定量法およびガスクロマトグラフによる脂肪酸の分析

活性汚泥プロセスにおける油分の挙動を調べる際、液中に存在している油分を調べる場合と汚泥中に存在している油分を調べる場合がある。各々の場合によってその抽出方法が異なっている。本章において、液中の油分の抽出定量法については、JISによるソックスレー抽出法および液-液抽出法を用いた場合の回収率や問題点などについて検討した。一方、汚泥中の油分の抽出定量法については Standard Methods によるソックスレー抽出法および Bligh-Dyer 法を用い、汚泥中油分の含油量を検討した。

油分の構成成分中のおよそ9割以上は脂肪酸であるため、油分の分析には脂肪酸の分析は重要且つ不可欠である。本章ではガスクロマトグラフ分析法を用い、Chromosorb W-AW-D および Diasolid ZF-1の2種の充填剤を与え、高級脂肪酸の定性、定量分析などを検討した。得られた主な知見は次のようである。

(1) ソックスレー抽出法によるオリーブ油の回収率は、抽出、乾燥などの分析操作、乳化状態にかかわらず、90%以上であった。又、乳化オリーブ油 (Tween 80 5%添加) の添加量がソックスレー抽出法によるとき800 mg、液-液抽出法による場合500 mg以下であれば、90%以上の回収率が得られた。

(2) 汚泥中の油分の抽出定量については、Standard Methods による方法と Bligh-Dyer 法のいずれを用いても、抽出定量した汚泥の含油量はスキムミルクで馴致した活性汚泥の場合 0.03~0.04 mg Oil/mg MLSS、また、オリーブ油で馴致した活性汚泥の場合 0.06~0.07 mg Oil/mg MLSS であった。

(3) オリーブ油をガスクロマトグラフによって分析した結果から、オリーブ油の構成脂肪酸は主にオレイン酸 (約81%) であり、その他リノール酸 (約9%)、パルミチン酸 (約9%) を含んでいることがわかった。

## 第3章 オリーブ油の生物学的分解性

有機物質は微生物の酸化還元、加水分解などによって、最終的には無機物までに分解される。分解され易さの程度は生物学的分解性と呼ばれ、易分解性と難分解性とに分けることができる。しかし、いかなる基準でどの程度分解されにくければ、難分解性と称するのか、即ち難分解性物質の明確な定義はまだ確立されていない。本章では、まず難分解性物質の定義について考察し、オリーブ油の生物学的分解性をBOD試験法によって検討した。更に、オリーブ油で馴致した活性汚泥を用い、オリーブ油の分解に関する基礎的知見を得るため、実験を行い、実験の結果について

動力学的検討を行った。得られた知見は以下のようになる。

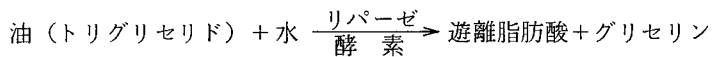
(1) BOD試験法を用いた難分解性物質判定法では、乳化したオリーブ油は橋本が定義した難分解性物質のうち、type IIIあるいはtype IVに属するものと考えられる。

(2) オリーブ油の真の消費速度は低油分濃度（600 mg/l以下）では、上澄液からの見かけの比消費速度より小さく、高油分濃度では、見かけの比消費速度より大きい。又、オリーブ油の真の比消費速度は単位汚泥当りの吸着油分量の増加とともに増加する傾向がある。

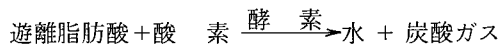
(3) オリーブ油の最大比消費速度と初期油分濃度との間には、Michaelis-Mentenの酵素反応式の関数関係が成立すると考えられる。

#### 第4章 活性汚泥によるオリーブ油の加水分解

油が微生物によって吸収、分解されるためには、まず、リパーゼ酵素によって加水分解されなければならない。一般に、微生物による油分の分解は次に示す2つの経路を経ておこなわれる。まず、次式に示すように、油はリパーゼ酵素によって加水分解され、遊離脂肪酸とグリセリンが生成する。これは加水分解段階である。



油が加水分解されてできた遊離脂肪酸は更に酸化されて、次式のように水と炭酸ガスになる。これは酸化段階である。



活性汚泥によるオリーブ油の分解に際しても、加水分解の反応が行なわれなければならない。前章では、オリーブ油の活性汚泥による消費、除去を総括的に検討したが、本章では、特に加水分解段階に対して検討を行い、加水分解速度に及ぼす油分濃度および油滴径の影響を調べ、次のような知見を得ている。

(1) オリーブ油の投入濃度が1500 mg/l以下では、加水分解速度と遊離脂肪酸の酸化速度はほぼ等しいが、2000 mg/l以上では、遊離脂肪酸の酸化速度が小さくなり、混合液中に遊離脂肪酸が蓄積した。即ち、低オリーブ油濃度下では、加水分解が律速になっているのに対し、高オリーブ油濃度下では、汚泥と油分との接触面積が増加し、加水分解が遊離脂肪酸の酸化を上回る速度で進むものと考えられる。

(2) オリーブ油で馴致した活性汚泥は、スキムミルクで馴致したものに比べて、オリーブ油に対する分解能が大きいことがわかり、馴致の効果が大きいことが明らかになった。

(3) 平均油滴径が2.33 μmと13.69 μmの乳化オリーブ油の活性汚泥による分解では、初期の3時間以内は、油滴径が小さい方が速く分解されることが判明した。また、油滴径が小さい場合には反応初期の汚泥への油分の吸着が急速に進むことがわかった。

## 第5章 活性汚泥による遊離脂肪酸の酸化

活性汚泥による油分の加水分解段階については、オリーブ油を基質として既に前章で検討を行った。本章では、オリーブ油で馴致した活性汚泥を用い、加水分解の結果生じると考えられる種々の遊離脂肪酸（ミリスチン酸、パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸）の酸化に関して実験を行った。得られた知見は次のようになる。

- (1) 長鎖飽和脂肪酸の活性汚泥による酸化においては、炭素数の増加とともに初期比酸化速度が小さくなることが判明した。
- (2) 炭素数の鎖長が同じ脂肪酸については、二重結合基を持つ不飽和脂肪酸の方が飽和脂肪酸より酸化されやすいことが明らかになった。
- (3) 脂肪酸の酸化速度の相違は、それらの水に対する溶解度の差異によるものであると考えられる。

## 第6章 活性汚泥によるオレイン酸ナトリウムの連続処理

下水中に含まれている油分は最終的に下水処理場に流入する。下水中に一定量以上の油分が存在すると、活性汚泥の活性が阻害され、処理水水質が悪化して下水処理が困難になると考えられる。第3, 4, 5章では、回分実験によって活性汚泥による油分の分解特性を明らかにした。しかしながら、実際には連続的に油分の分解を行なわせる場合が多いと考えられる。そこで、本章では、代表的な脂肪酸であるオレイン酸のナトリウム塩を基質とし、活性汚泥による連続処理実験を行った。実験結果をもとにして、オレイン酸ナトリウムの分解特性および汚泥の生成量を評価した。その結果から得られた知見は次のように総括される。

- (1) 基質の除去速度は1次反応式で評価でき、基質除去速度は  $k = 0.008 \text{ l/mg} \cdot \text{day}$  であった。
- (2) 酸素利用速度に関して、基質の酸化に利用された酸素量は  $a' = 0.636 \text{ mg O}_2 / \text{mg CODcr}$  であり、内生呼吸および維持代謝に必要な酸素量は  $b' = 0.019 \text{ mg O}_2 / \text{mg MLVSS} \cdot \text{day}$  であった。
- (3) 基質の汚泥への転換率は  $a = 0.236 \text{ mg MLVSS} / \text{mg CODcr}$  であり、汚泥の分解速度係数は  $b = 0.015 \text{ mg MLVSS} / \text{mg CODcr} \cdot \text{day}$  であり、一般の有機物質に比べ、汚泥転換率が低いことがわかった。
- (4) 基質汚泥負荷量が  $0.064 \sim 0.466 \text{ mg CODcr} / \text{mg MLVSS} \cdot \text{day}$  の範囲では、基質汚泥負荷量の増加とともに基質除去速度または酸素利用速度が増大することが明らかになった。

## 第7章 総括および結論

本研究を通して得られた結果を総括し要約してある。

## 審 査 結 果 の 要 旨

生活排水を主体とする都市下水の油分は、主として動・植物油と考えられるが、これが下水処理の過程で活性汚泥によってどのように分解されるかについては、不明な点が少なくない。本論文は油分のうち代表的な植物油であり、組成が比較的単純なオリーブ油をとりあげ、活性汚泥による加水分解と酸化、更に、基質除去、酸素利用および汚泥生成の動力学などについて検討したもので、全文7章よりなる。

第1章は総論である。

第2章は液中および汚泥中の油分の抽出・定量方法およびガスクロマトグラフによる脂肪酸の分析方法について研究したものである。

第3章はオリーブ油の生物学的分解性について研究したものである。著者はBOD試験によって生物学的分解性を検討し、更に、オリーブ油で馴致した活性汚泥を用いて、オリーブ油の総括的な分解反応について、動力的考察を試みている。

第4章は活性汚泥によるオリーブ油の加水分解について研究したもので、第5章と共に本論文の中心である。著者は油分濃度および油滴径の影響について検討し、低濃度の場合にはオリーブ油の加水分解速度と加水分解の結果生成する遊離脂肪酸の酸化速度はほぼ等しいが、高濃度では加水分解速度が酸化速度を上回ること、油滴径の小さい方が反応初期における活性汚泥への吸着および分解が速いことなどの重要な知見をえている。

第5章は活性汚泥による遊離脂肪酸の酸化について研究したものである。著者は長鎖飽和脂肪酸の酸化反応において炭素数の増加と共に初期比酸化速度が小さくなること、炭素鎖長が同じ脂肪酸については不飽和脂肪酸の方が飽和脂肪酸より酸化されやすいこと、脂肪酸の酸化速度の相違は水に対する溶解度の差異によるものであると考えられることなどの有用な知見をえている。

第6章は活性汚泥によるオレイン酸ナトリウムの連続処理について研究したものである。著者は基質除去、酸素利用および汚泥生成について動力的に検討し、プロセスの設計および管理のためのパラメータを明らかにしている。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は活性汚泥による油分の分解について研究し、加水分解および酸化の機構、基質除去、酸素利用および汚泥生成の特性などを明らかにし、プロセスの設計および管理について重要な提案を行ったものであり、衛生工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。