

# 小規模処理施設を対象とした生活排水の 高度処理技術に関する研究

嶋津暉之 和波一夫 村田 望\* 柳田房洋\*  
(\*埼玉工業大学)

## 要 旨

現場の実験装置を用いて土壌生物処理、生物膜処理、活性汚泥処理の3方法について各種汚染物質の除去特性を調べた。その結果、主に次のことが明らかになった。

- ① 環境ホルモンに関しては土壌生物処理がエストロゲンに対して他の処理方法よりはるかに優れた除去能を示した。
- ② 有機物質についても土壌生物処理が全般的には他の2方法に比べて優れた除去能を示した。その差はBODが最も大きく、次いでCOD、TOCであった。
- ③ 土壌生物処理3槽のうち、1槽は土壌層下部に硫黄と炭酸カルシウムを加えて硫酸化菌による脱窒素の機能を付加した。この槽では予想どおり、NO<sub>x</sub>-Nが還元され、他の2方法と同レベルまで処理水のT-Nを低減させることができた。

キーワード：戸別合併処理浄化槽、土壌生物処理、生物膜処理、活性汚泥処理、内分泌かく乱化学物質、エストロゲン、TOX生成能

## 1 はじめに

下水道や戸別合併処理浄化槽等の普及により、多摩川をはじめ、多くの河川の水質は30~40年前と比べると、大幅に改善され、BODの環境基準をすでに達成したか、または達成しつつある状況にある。その結果を受けて、多摩川中流部ではより上位の環境基準に改定された。しかし、河川の水質はまだいくつかの課題が残されている。一つは、下水処理場や浄化槽等の放流水に残存する内分泌かく乱化学物質(環境ホルモン)が河川や海域に生息する魚類に対して生殖異常を引き起こしているのではないかという問題である。また、BODでは計測されない有機物質(難分解性有機物質)が放流水に残存しており、それが河川を流下して水道浄水場に取り込まれると、浄水場の塩素処理で(発がん性が憂慮される)トリハロメタン等の有機ハロゲン物質を生成することも懸念されている。

かつての清浄な河川や海域を取り戻していくためには、内分泌かく乱化学物質や難分解性有機物質なども十分に除去することが可能な処理技術を開発していくことが必要である。本研究では、戸別合併処理浄化槽やコミュニティプラントといった小規模生活排水処理施設を念頭において、内分泌かく乱化学物質や難分解性有機物質、更にBODやCOD、窒素、りん等の一般項目の除去率も高い処理技術を見い出すことを目的として、住宅団地の污水处理施設内で現場実験を行った。2000~2001年度の約2年間の現場実験によっていくつかの知見が得られたので、その結果を報告する。

## 2 方法

### (1) 実験装置および調査対象施設の概要

既報<sup>1) 2)</sup>のとおり、都市基盤整備公団八潮団地(埼玉県八潮市)の污水处理場内に設置してある実験装置

を使用し、同処理場の原水槽から污水を導いて処理実験を行った。処理方式は一つが土壤生物処理、もう一つが嫌気・好気生物膜処理である。その他に、活性汚泥処理を行っている同処理場も調査対象とし、土壤生物処理、生物膜処理、活性汚泥処理という三種類の処理技術について内分泌かく乱化学物質等の除去特性を調べることにした。ただし、生物膜処理の実験施設は2001年9月から別の目的の実験研究(生物活性炭処理)に使うことになり、同年8月までの実験となった。

これら三つの施設を対象として、原則として3週間に一度、原水、処理工程水、処理水をスポット採水して水質分析を行った。各施設の概要は次のとおりである。それらの構造を図1に示す。

ア 土壤生物処理

污水を沈殿分離槽に送り、沈殿分離槽通過後の上澄液を中継ポンプで土壤処理槽に送った。土壤処理槽で污水中の有機物質等は土壤に吸着され、それを土壤層内の浄化微生物が分解する。土壤処理槽の土壤の大半は黒ボク土で、一定の透水性を確保するため、マサ土(砂質土壌)が混合されている。土壤層内を常に好気状態に維持するように4時間おきの断続送水にするとともに、送風ファンで土壤層に空気を送るようにした。沈殿分離層の堆積汚泥は1年に概ね1回排出した。

土壤処理槽は3槽に分かれ、A、B槽は土壤層を1段、C槽は処理水量を倍増するため、2段重ねにした。ただし、C槽は途中で製作上の問題により短絡流が生じたため、本報告ではA、B槽の結果のみを示す。図1(1)のとおり、A槽は土壤層のみによる処理であるが、一方、B槽は脱窒素の機能をもたせるため、硫黄と炭酸カルシウムを土壤層の下部土壤に混合し、硫黄酸化菌による硝酸・亜硝酸の還元が行われるようにした。更に、それらの還元で生じる窒素ガスを排出できるようにガス抜きシートを敷いた。土壤生物処理の実験装置を設置したのは1997年12月で、2000年9月に上記の改造を行った。

イ 嫌気・好気生物膜処理

污水を嫌気ろ床槽、接触酸化槽第1室、同第2室、沈殿槽に順次通して、嫌気・好気生物膜処理を行った。また、硝酸・亜硝酸の還元のため、エアリフトポンプで沈殿槽の底部から処理水量の4～5倍の水量を嫌気ろ床槽の前に循環した。嫌気ろ床槽と接触酸化槽

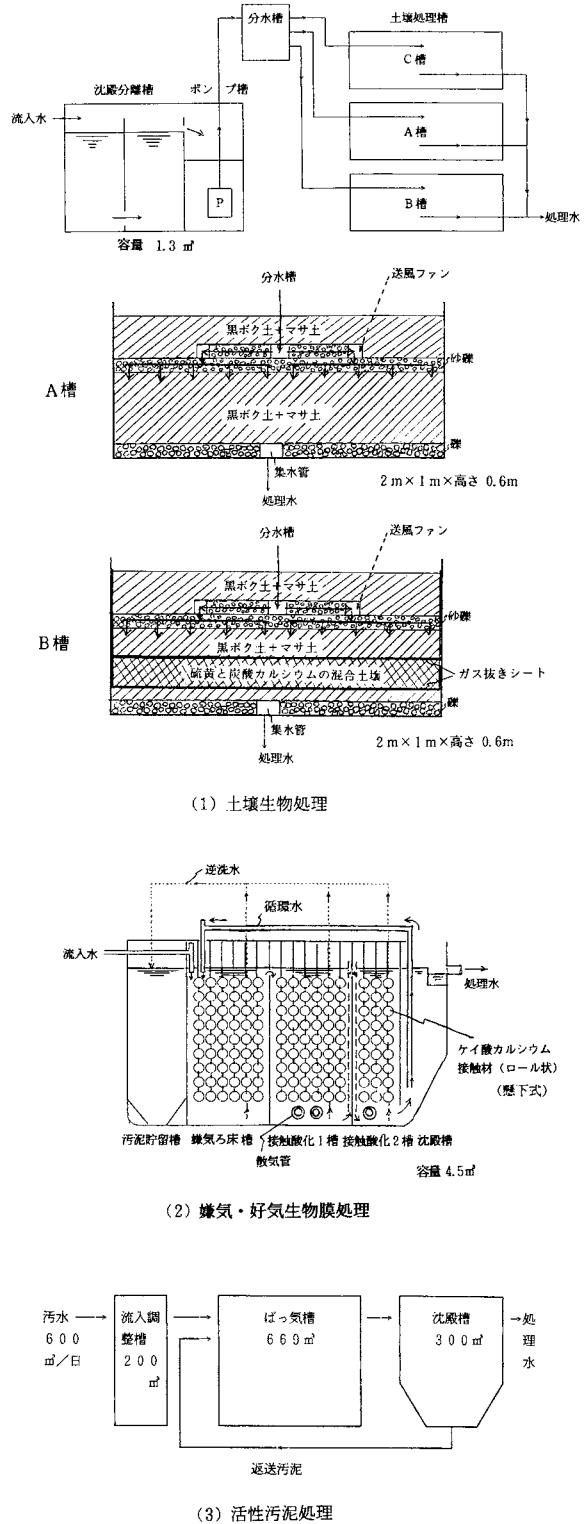


図1 各処理施設の構造

の接触材には、リンの除去を目的にして、ケイ酸カルシウムを主成分とするものを使用した。これは、軽量気泡コンクリートの廃材を粉碎して粒状にし、ロール状に加圧成形したもので、この接触材を9個単位でひもに数珠状につないで、各槽に懸下した。1日に1回

各槽を逆洗して接触材の表面が徐々に剥離するようにし、逆洗時に各槽の懸濁水をエアリフトポンプで汚泥貯留槽に送るようにした。汚泥貯留槽の堆積汚泥は1年に概ね1回排出した。

ウ 活性汚泥処理

汚水処理場の処理方式は長時間ばっ気式の活性汚泥処理で、ばっ気槽のMLSS（混合液浮遊物質濃度）は平均で約3000mg/Lである。同処理場は沈殿槽からの引抜汚泥を加圧浮上で濃縮した後、ベルトプレス脱水機で脱水し、場外処分を行っている。

(2) 運転条件

実験装置および汚水処理場の運転条件は表1のとおりである。実験装置の原水は汚水処理場の微細スクリーンを通過した流入汚水で、一般家庭の汚水の排出特性に合わせ、朝と夕方に原水の流入を集中させるように1日に18回に分けて送水した。処理日数は土壤生物処理が土壤層1段の場合は約10日、2段重ねの場合は約6日、生物膜処理が約4日、活性汚泥処理が約2日である。

(3) 分析の方法

ア 内分泌かく乱化学物質

内分泌かく乱化学物質については既報<sup>3)</sup>の図1のフローで試料の濃縮を行った上で、次の項目を分析した。

- ・17β-エストラジオール
- ・エストロジェン総合作用強度

17β-エストラジオール（以下、エストラジオールという）は女性ホルモンとしての作用強度が最も大きい天然エストロジェンである。エストラジオールはELISA法（抗原抗体反応を利用した酵素免疫

法）で測定した。ELISA法の分析には TAKEDA17β-Estradiol ELISAキットを用いた。

エストロジェン総合作用強度は天然エストロジェンと、女性ホルモン作用を持つ人工化学物質の総合的な作用強度を示すもので、Brunel大学の遺伝子組み換え酵母法を用いて測定した。その測定手順は既報<sup>3)</sup>のとおりである。この作用強度はエストラジオール換算濃度で表示した。

イ 一般項目

次の項目をJISに準じて分析を行った。

BOD、C-BOD（硝化を抑制したBOD）、COD、TOC、254nm紫外外部吸光度（1cmセル）、T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>x</sub>-N、T-P、PO<sub>4</sub>-P

ウ トリハロメタンおよびTOXの生成能

トリハロメタン生成能と全有機ハロゲン（TOX）生成能は上水試験方法に準じて測定した<sup>4)</sup>。トリハロメタン4成分（クロロホルム、プロモジクロロメタン、ジプロモクロロメタン、プロモホルム）はn-ヘキセン抽出・ガスクロマトグラフによって、TOXはTOX計によって分析した。

3 結果

(1) 水温の変化

活性汚泥処理施設は半地下であるのに対して、実験装置2基は地上置きであるため、外気温の影響を受けやすく、冬期は水温が著しく低下した。土壤処理槽に充填している土壤は水に比べて比熱が小さいため、外気温の影響が大きい。そこで、土壤処理槽は冬期（12月中旬～3月中旬）は送風ファンを取り外して布団乾燥用の温風機から送風するようにした。それでも、図2のとおり、土壤生物処理の水温は5℃程度まで低下

表1 実験装置および調査対象施設の運転条件

	処理日数	循環水量/処理水量	空気吹込量/処理水量
土壤生物処理 1段注入	約10日	—	—
2段注入	約6日	—	—
嫌気・好気生物膜処理	約4日	300～400%	100倍
活性汚泥処理	約2日	返送率100%	60倍

〔注〕土壤生物処理は土壤処理槽1槽につき5Wファン1個（2段注入の場合は2個）で送風している。

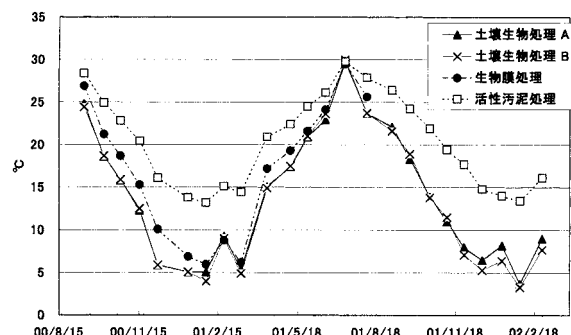


図2 水温の経時変化

した。厳冬期の水温は生物膜処理が約6℃、活性汚泥処理が約14℃であった。浄化微生物は水温が10℃を下回ると、活性が大きく低下するので、それに対応するために、冬期に限り、土壌生物処理と生物膜処理は原水の送水量を半減するようにした。ただし、実際の施設では土壌生物処理も生物膜処理も地下に設置され、最低水温が通常は15℃程度にとどまるので、浄化微生物の活性が大きく低下する問題はない。なお、市販される浄化槽の評定試験においては最低温度が13℃という条件で処理性能を判断することになっている。

(2) 内分泌かく乱化学物質

3施設処理水のエストラジオールおよびエストロジェン総合作用強度の経時変化を図3、4に、処理水・流入水の各水質項目の平均値を表2に示す。活性汚泥処理のエストラジオール、エストロジェン総合作用強度は通常は数ng/L以下であるが、時には10ng/Lを超えることもあった。生物膜処理も数ng/Lから6ng/Lまでの間を変動した。それに対して土壌生物処理はほぼ1ng/L以下であり、活性汚泥処理や生物膜処理に比べて十分に低い値を示した。

なお、エストラジオールはエストロジェン総合作用強度の一部を構成するものであるため、前者は後者より小さい値になるはずであるが、生物反応を利用したELISA法や酵母法の測定法の限界があって、一部のデータでは逆転現象が生じている。

(3) 有機物質

3施設処理水のBOD、C-BOD、COD、TO

表2 各処理施設の処理水質と流入水質 (2000.9~2002.2の平均)

	処理水				流入水 (9時採水)
	土壌生物処理 A	土壌生物処理 B	生物膜処理	活性汚泥処理	
水温(℃)	13.9	13.6	17.2	20.4	18.4
pH	6.9	6.7	7.7	6.7	7.7
BOD(mg/L)	1.1	1.0	5.6	6.4	259
C-BOD(mg/L)	0.6	0.7	4.6	4.0	246
COD(mg/L)	6.6	7.8	13.5	17.2	183
TOC(mg/L)	5.1	5.3	7.4	7.4	104
SS(mg/L)	0.5	6.7	8.5	20.9	300
254nm吸光度(mABS)	111	106	121	114	533
T-N(mg/L)	24.8	8.3	10.2	9.0	46.7
NH4-N(mg/L)	0.7	0.9	0.1	1.2	27.1
NOX-N(mg/L)	23.6	6.5	8.4	5.8	0.3
NO2-N(mg/L)	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1
T-P(mg/L)	0.02	0.02	1.68	1.38	5.8
PO4-P(mg/L)	0.03	0.02	1.44	0.78	2.5
トリハロメタン生成能(μg/L)	81	85	115	95	490
TOX生成能(μg/L)	370	390	560	580	8700
エストロジェン総合作用強度(ng/L)	0.1	0.0	2.5	2.7	47
17β-エストラジオール(ng/L)	0.4	0.4	1.8	2.8	30

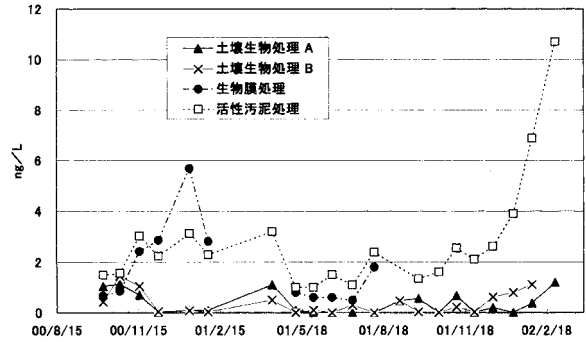


図3 17β-エストラジオールの経時変化

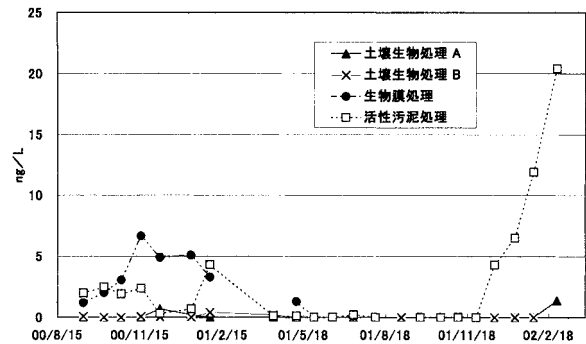


図4 エストロジェン総合作用強度の経時変化

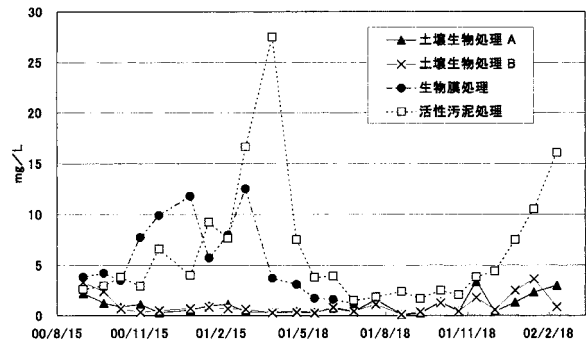


図5 BODの経時変化

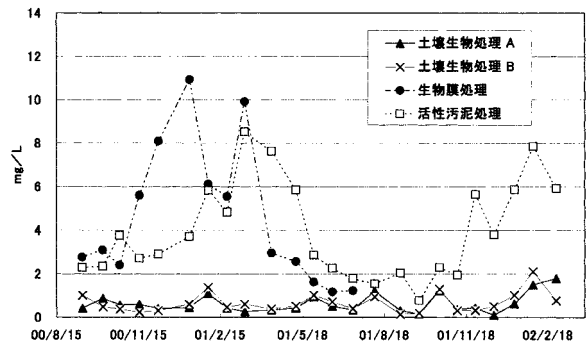


図6 C-BODの経時変化

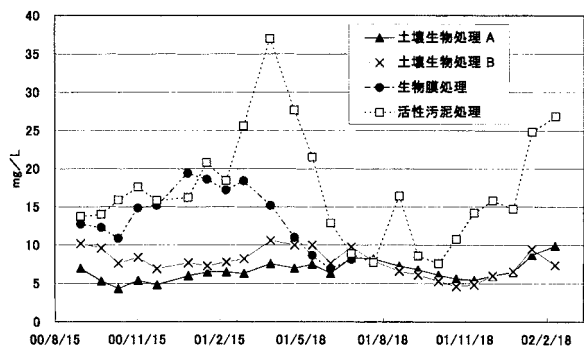


図7 CODの経時変化

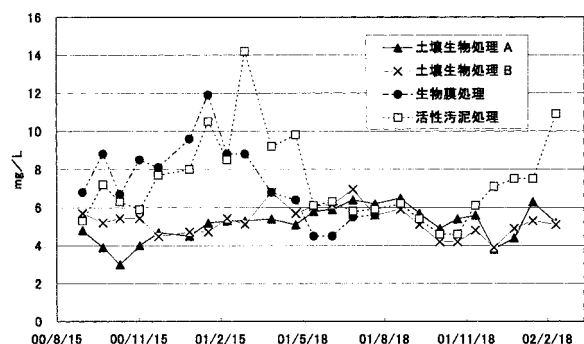


図8 TOCの経時変化

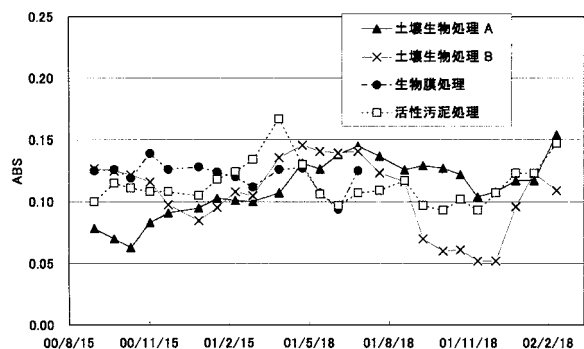


図9 254nm吸光度の経時変化

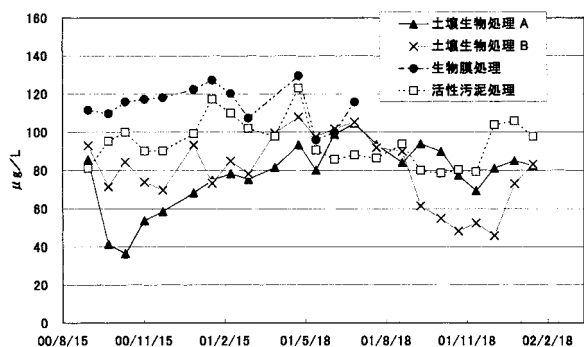


図10 トリハロメタン生成能の経時変化

C、254nm吸光度の経時変化を図5～9に示す。活性汚泥処理と生物膜処理はBODが10mg/L、C-BODが8mg/Lを超える期間が時折あるのに対して、土壤生物処理のBOD、C-BODはA槽、B槽ともほぼ2mg/L以下であり、BODに関しては土壤生物処理が格段に優れた除去能を示した。CODに関しては、活性汚泥処理と生物膜処理が15～20mg/L以上になることが度々あるのに対して、土壤生物処理は概ね10mg/L以下であり、BODほどではないが、優れた除去能を示した。

次に、TOCに関しては、活性汚泥処理と生物膜処理は10mg/Lを超えるか、それに近い値を示す期間があるのに対して、土壤生物処理は概ね6mg/L以下の値を示した。しかし、前二者との差はCODよりも小さかった。254nm吸光度は不飽和結合を有する有機物質の指標で、主にフミン質等の難分解性有機物質を表す。254nm吸光度に関しては土壤生物処理は均してみれば他の2方法よりやや低い値を示す程度で、土壤生物処理の優位性はTOCより更に明確ではなくなった。活性汚泥処理と生物膜処理は同程度の値であった。

(4) トリハロメタン生成能とTOX生成能

3施設処理水のトリハロメタン生成能とTOX生成能の経時変化を図10、11に示す。トリハロメタン生成能については土壤生物処理は均してみれば、他の2方法より少し低い程度の値であった。活性汚泥処理と生物膜処理は同程度の値を示した。もともと、トリハロメタンを生成する有機物質の多くは254nm吸光度にかかるものであるから、トリハロメタン生成能は254nm吸光度に近い傾向を示した。

一方、TOX生成能については土壤生物処理が500μg/L以下の値を示すのに対して、活性汚泥処理と生物膜処理は時には600～700μg/L以上の値を示す

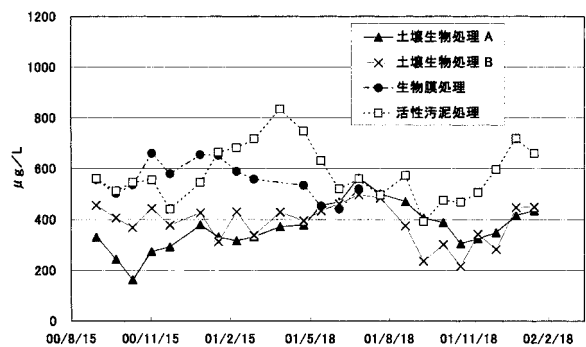


図11 TOX生成能の経時変化

こともあり、土壤生物処理の優位性は明らかであった。ただし、土壤生物処理と他の2方法との差はTOC並みであり、BODのように大きな差はみられなかった。

(5) 窒素とりん

3施設処理水のNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>x</sub>-N、T-N、T-Pの経時変化を図12~15に示す。

NH<sub>4</sub>-Nは3施設とも一時期を除けば、2mg/L以下の値を示しており、いずれも硝化がよく進行している。NO<sub>x</sub>-Nに関しては土壤生物処理Aのみが概ね20~30mg/Lで、格段に高い値を示し、土壤生物処理Bと活性汚泥処理は10mg/L以下、生物膜処理は10数mg/L以下であった。土壤生物処理Aは一般の土壤処理と同様、NO<sub>x</sub>-Nを還元する機能がほとんどない。この問題点を克服するため、硫黄酸化菌による脱窒素の機能を付加したのが土壤生物処理Bであり、他の処理法と同レベルまでNO<sub>x</sub>-Nを低減する効果が得られた。T-NのほとんどはNO<sub>x</sub>-Nで構成されているので、T-Nの傾向もNO<sub>x</sub>-Nと同様であった。土壤生物処理Aは概ね20~30mg/L、土壤生物処理Bと活性汚泥処理は10mg/L以下、生物膜処理は15mg/L以下であった。

T-Pに関しては土壤生物処理が0.1mg/L以下の値を維持した。活性汚泥処理と生物膜処理は変動が大きく、概ね1.0~2.0mg/Lであり、土壤生物処理がとりわけ低い値を示した。

4 考察

(1) 内分泌かく乱化学物質

土壤生物処理はエストロゲンに対して他の処理方法よりはるかに優れた除去能を示した。活性汚泥処理の場合は別報<sup>5)</sup>のとおり、エストロゲンは汚泥に移行する部分が非常に少なく、ほとんどがばっ気槽内での分解で除去される。エストロゲンの分解が微生物分解か酵素分解か或いは他の分解機構によるのかは不明であるが、ばっ気槽での処理時間が長いほど、エストロゲンはよく分解される傾向がある。調査対象の活性汚泥処理はこの処理時間が約30時間もあるので、普段は処理水のエストロゲン濃度が低いが、何らかの要因で時折、上昇することがある。生物膜処理も同様に、好気槽でエストロゲンの分解が進むと考えられる。この場合も好気槽での処理時間が約40時間もあ

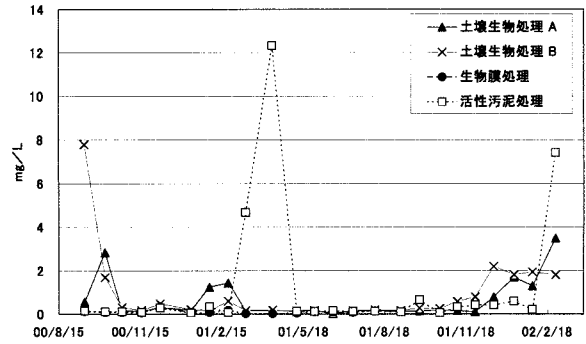


図12 NH<sub>4</sub>-Nの経時変化

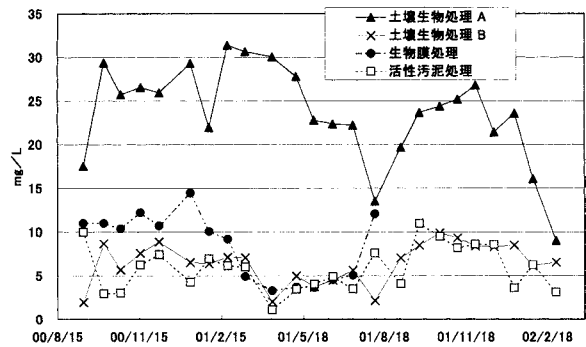


図13 NO<sub>x</sub>-Nの経時変化

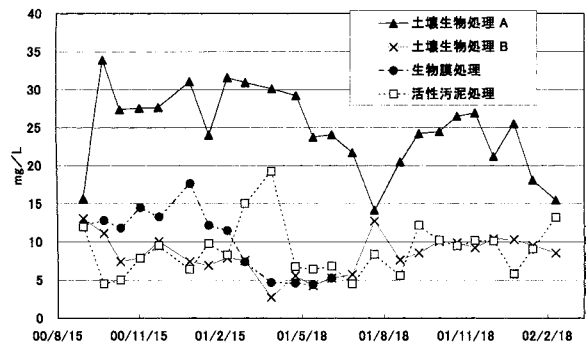


図14 T-Nの経時変化

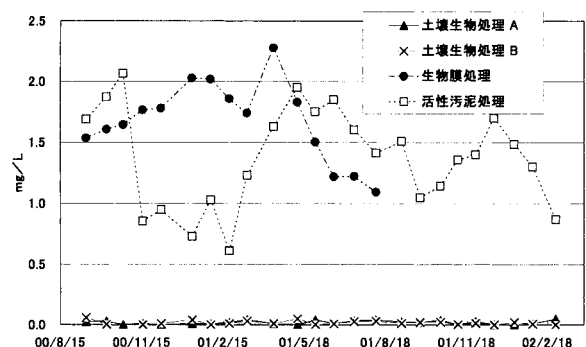


図15 T-Pの経時変化

るので、処理水のエストロゲン濃度が通常は低いが、時折上昇する。

一方、土壤生物処理においては、土壤中の腐植物質が活性炭と同様の吸着作用を持つので、エストロゲンのような疎水性物質は、最初に土壤成分に吸着され、その後、微生物分解や酵素分解等を受けると考えられる。土壤生物処理の除去率が非常に高いのは、活性汚泥処理等と異なり、エストロゲンが土壤成分に一度吸着されてから時間をかけて分解されるからだと推測される。この点で、土壤生物処理はエストロゲンの除去に適した方法であるといえる。

## (2) 有機物質

### ア 有機物質の指標と除去の機構

まず、有機物質の指標の意味と除去の機構について予備的な考察を行う。

BOD等の有機物質の各指標が意味するところは次のとおりである。有機物質には生物によって分解されやすい易分解性有機物質と分解されにくい難分解性有機物質がある。後者は長い時間をかければ分解できるものからほとんど分解できないものまである。BODは易分解性有機物質の指標であり、CODは酸化剤(過マンガン酸カリウム)によって分解可能な有機物質を示し、有機物質全体は表していない。その中には、易分解性と難分解性の両方が含まれているけれども、処理水のCODがBODの数倍以上の値を示すことから、後者の割合がかなり高いと考えられる。TOCは易分解性、難分解性を含めて有機物質全体を表す指標であり、254nm吸光度は二重結合、三重結合などの不飽和結合を有する有機物質を表す指標で、そのほとんどは難分解性有機物質である。

3つの処理方法は有機物質に対する処理の機構がそれぞれ異なる。土壤生物処理の場合は土壤成分が有機物質を吸着した後、土壤微生物がそれをゆっくりと分解する。生物膜処理の場合は接触材の表面に付着した微生物が、そして、活性汚泥処理の場合はばっ気槽に浮遊している活性汚泥中の微生物が有機物質を捕捉した上で分解する。生物膜法は微生物の構成が多様かつ有機的で、細菌類が原生動物、更に後生動物に捕食されて段階的な分解が進むのに対して、活性汚泥法の場合は原生動物等が少なく、細菌類がほとんどを構成する。そのこともあって、活性汚泥処理は汚泥発生量

が多く、処理水量1Lあたり100mg程度の汚泥固形量が発生するのに対して、生物膜処理は数十mgである。土壤生物処理の汚泥発生量は後者と同程度である。

### イ 3方法の比較

BOD等の有機物質に対する除去能は全般的には土壤生物処理が他の2方法と比較して優れていたが、有機物質の指標によってはその差はわずかなものとなった。また、活性汚泥処理と生物膜処理の除去能はいずれの指標も同程度であった。生物膜法は活性汚泥法に比べて汚泥発生量のはるかに少ないので、その差の有機物質は分解されなければ、難分解性有機物質として処理水に混入するはずである。しかし、実際に生物膜法の難分解性有機物質は活性汚泥法と同程度であった。これは、アで述べた段階的な分解や嫌気・好気の二段処理が難分解性有機物質を活性汚泥法並みまで分解するからだと考えられる。

土壤生物処理と他の2方法との差はBODが最も大きく、次いでCOD、TOC、254nm吸光度の順序であった。この結果は、土壤生物処理の除去能が易分解性有機物質に対して最も大きいこと、難分解性有機物質の中でもCODにかかるものは除去能が比較的大きく、254nm吸光度にかかるものは相対的に除去能が小さくなること、そして、有機物質全体を表示するTOCはBOD、COD、254nm吸光度の平均的な除去能を示したことを意味する。土壤生物処理を始めてからの約2年間の実験では254nm吸光度についても他の2方法に対する優位性が大きかったが<sup>2)</sup>、3～4年目はその差が小さくなった。

土壤生物処理において難分解性有機物質の除去能が1～2年目と比べて低下したのは、難分解性有機物質のうち、分解が困難なものは当初は土壤成分に吸着されていたが、次第にその吸着座が飽和してきたことを示唆している。しかし、難分解性有機物質のうち、分解が可能なものに対しては他の2方法と同程度の分解力を維持している。そして、有機物質を土壤成分に吸着した上で微生物が分解するという分解機構がBOD・CODの起因有機物質に対して有効に働き、BODやCODを活性汚泥法や生物膜法よりかなり低い濃度まで低減させる効果を発揮した。

以上のとおり、254nm吸光度にかかる難分解有機物質については差が顕著ではないが、有機物質全体の除

去技術として最も優れた方法は土壤生物処理である。

### (3) トリハロメタンとTOXの起因物質

浄化槽等の放流地点より下流に水道浄水場がある場合は浄水場での塩素注入でトリハロメタン等の有機ハロゲン物質が生成される。水道の水質基準は消毒副生成物の有機ハロゲン物質としてトリハロメタンとその4成分の他に、監視項目としてジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸、ジクロロアセトニトリル、抱水クロラールの指針値を定めているが、浄水場での塩素処理で生成される有機ハロゲン物質の種類はこれにとどまらず、何十、或いは百を超えるとされている。そこで、本研究では試料に塩素を加えてトリハロメタンの生成能の他に、有機ハロゲン物質の総量を示すTOXの生成能も調べた。

TOXの生成能については土壤生物処理が最も高い除去能を示し、生物膜処理と活性汚泥処理はTOX生成能の差があまりなかった。一方、トリハロメタン生成能については土壤生物処理の優位性は明確ではなかった。TOXは有機物質全体から生成されるものであるのに対して、トリハロメタンを生成するのは主に254nm吸光度にかかる難分解性有機物質であるから、これらの生成能の除去特性は(2)で述べた土壤生物処理の有機物質の除去特性を反映している。

### (4) 窒素

土壤中には硝化菌が十分に生息しているので、土壤処理は一般に、土壤生物処理Aと同様、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を $\text{NO}_x\text{-N}$ に酸化できるけれども、生成された $\text{NO}_x\text{-N}$ を還元する機能がほとんどないため、処理水のT-Nが非常に高い。この問題点を克服するため、土壤生物処理Bでは硫黄酸化菌を使って $\text{NO}_x\text{-N}$ を還元する機能を付加した。硫黄酸化菌は硫黄等を硫酸に酸化する時に得られるエネルギーで増殖する独立栄養性細菌であって、酸素のある状態では酸素を使って硫酸を生成し、酸素のない状態では $\text{NO}_x$ 中の酸素を使う。この時に $\text{NO}_x\text{-N}$ は窒素ガスに還元される。通常の脱窒素菌は従属栄養性細菌であって、増殖に必要な有機物質がないと、 $\text{NO}_x\text{-N}$ の還元ができない。一般に土壤処理が脱窒素の機能を持たないのは、土壤中で $\text{NO}_x\text{-N}$ が生成された後の状態では利用可能な有機物質がほとんどなくなっているからである。

硫黄酸化菌が増殖できるように、土壤層の下部に粉

末の硫黄と炭酸カルシウムを土壤と混ぜた層をつくった。炭酸カルシウムは、生成される硫酸を中和するためと、独立栄養性細菌の増殖に必要な炭酸を供給するために必要なものである。硫黄酸化菌による $\text{NO}_x\text{-N}$ 還元反応式から計算して<sup>6)</sup>、硫黄と炭酸カルシウムの比は1:3であるので、その比で4~5年分の脱窒素に必要な量の硫黄と炭酸カルシウムを土壤層下部の土壤に混合した。更に、生成された窒素ガスを大気中に逃がすため、ガス抜きシートをその上下に敷いた。

この脱窒素効果により、土壤生物処理Bでは処理水のT-Nが10mg/Lを下回り、他の2方法と同程度の値が得られた。ただし、長期的な脱窒素機能をもたせるためには硫黄・炭酸カルシウム混合土壤の層厚をもっと厚くする必要がある。

なお、活性汚泥処理の場合は主にばっ気槽前半部で、生物膜処理の場合は嫌気ろ床槽で、流入水中の有機物質を栄養源として従属栄養性細菌による脱窒素が行われる。

### (5) りん

土壤生物処理は他の二方法と比べてT-Pがはるかに低い値であった。土壤のりん固定は、土粒子の成分である活性鉄および活性アルミニウム等による物理化学的吸着と、土壤微生物によるりんの固定がある。りん吸着テストのデータを使って、実験で用いた黒ボク土層の厚さから前者による吸着持続年数を求めると<sup>7)</sup>、有効機能率を100%とした場合は9年間となる。これに、土壤微生物によるりん固定が加わる。土壤微生物は有機物質を分解する際に、りんを捕捉して、リン酸エステルであるイノシトールリン酸を生成する<sup>8)</sup>。イノシトールリン酸はアルミニウム、鉄、カルシウムなどと低溶解性の塩を形成して土壤に固定される。ただし、この有機態りんがどこまで安定したものであるかは不明である。長期間の運転を続けると、前者の機能はいずれ小さくなり、後者が中心となる。T-P 0.1mg/L以下という低いレベルを続けることがどれ位の期間可能なのか、また、その後、T-Pがどの程度の値になるかについては長期的な実験が必要である。

なお、活性汚泥処理の場合はりん除去の中心は微生物によるりんの取り込みであり、生物膜処理の場合は接触材にケイ酸カルシウムを用いているので、カルシ



ウムとの反応による不溶性の塩の生成であると考えられる。

#### (6) 総合評価

三つの処理方法の結果を比較したところ、他の方法と同等程度の水質項目もあったが、全般的に優れた除去効果を発揮したのは土壤生物処理であった。内分泌かく乱化学物質も、BOD、COD、TOC、TOX生成能、T-Pも土壤生物処理が最も良好な水質を示した。トリハロメタン生成能とB槽のT-Nは他の2方法と同程度であった。ただし、T-PとT-Nについては長期的な検討が必要である。

土壤生物処理には長所と短所がある。電力消費量が非常に小さく、汚泥発生量も少ないので、維持管理費があまりかからない。電力消費の主な部分は土壤層へ送風する小さなファンであるから、生物膜法などと比べると、1/5以下である。一方で大きな容量を必要とする。土壤生物処理で今回の実験条件よりも送水量を増やすと、土壤層の最上部が嫌気状態となって、確実に目詰まりを起こす。沈殿分離槽も含めた処理日数は約10日、土壤層を二段重ねにすれば、約6日必要である。生物膜法が約4日であるから、その1.5倍の容量が必要である。ただし、地下に設置するので、地上部分を花壇等に使える、場所の問題は解決できる。小規模生活排水の処理方法として普及を図ることは可能と考えられる。

#### 5 おわりに

埼玉県八潮団地汚水処理場に設置してある実験装置2基と同処理場の処理施設を対象として、土壤生物処理、生物膜処理、活性汚泥処理の3方法について各種汚染物質の除去特性を調べた。2年間の実験・調査の結果、主に次のことが明らかになった。

- ① 環境ホルモンに関しては土壤生物処理がエストロゲンに対して他の処理方法よりはるかに優れた除去能を示した。これは、エストロゲンが土壤に一度吸着された上で時間をかけて分解されるという土壤生物処理の除去特性によるものと考えられる。
- ② 有機物質についても土壤生物処理が全般的には他の2方法に比べて優れた除去能を示した。その差はBODが最も大きく、次いでCOD、TOCであり、不飽和結合を有する有機物質の指標である254nm

吸光度は差がほとんどなかった。これは、易分解性および難分解性有機物質に対する土壤生物処理の除去特性によるものである。

- ③ TOX生成能についても土壤生物処理は他の2方法に比べて良好な除去能を示したが、トリハロメタン生成能については他の2方法との差が小さかった。
- ④ 土壤生物処理のうち、B槽は土壤層下部に硫黄と炭酸カルシウムを加えて硫黄酸化菌による脱窒素の機能を付加した。このB槽では予想どおり、NOx-Nが還元され、他の2方法と同レベルまで処理水のT-Nを低減させることができた。
- ⑤ りんについては土壤生物処理が他の2方法に比して格段に低いT-Pを示したが、今後、これがどのように推移していくかについては長期的な実験が必要である。
- ⑥ 活性汚泥処理と生物膜法は各水質項目とも、処理水質に大きな差がなかった。

#### 参考文献

- 1) 嶋津暉之ら、高度処理型小型合併処理浄化槽の研究、東京都環境科学研究所年報1998、p.195~204.
- 2) 嶋津暉之ら、小規模処理による難分解性有機物質に関する研究、東京都環境科学研究所年報2000、p.144~154.
- 3) 嶋津暉之ら、多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究(その3)、東京都環境科学研究所年報2000、p.165~175.
- 4) 嶋津暉之ら、多摩川における有機汚濁物質の起源と削減に関する研究(その2)、東京都環境科学研究所年報1995、p.231~241.
- 5) 嶋津暉之ら、多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究(その11)、東京都環境科学研究所年報2002、p.75~83.
- 6) 嶋津暉之、硫黄酸化菌を用いた脱窒素に関する検討(所内資料2000)
- 7) 嶋津暉之、りん吸着槽の必要容量に関する検討(所内資料1989)
- 8) G.H.Bolt,N.G.H.Bruggebwert, 土壤の化学, 学会出版センター p.233~243 (1980)

## Study on Advanced Treatment Process of Household Wastewater for Small-scale Treatment Plant

Teruyuki Shimazu, Kazuo Wanami,  
Nozomu Murata\* and Husatoshi Yanagida\*  
\*Saitama Institute of Technology

### Summary

Contaminant removal characteristics of soil biologic, biofilter and activated sludge treatment methods of household wastewater were investigated using the experiment plants on site. The following results were mainly clarified.

- (1) Soil biologic treatment method showed the excellent ability of estrogen removal farther than other two treatment methods.
- (2) Also, soil biologic treatment method showed the excellent ability of the organic substances removal compared with other two methods. The difference of soil biologic and the other two treatment methods had the largest in BOD and subsequently it was the order of COD and TOC.
- (3) To one of the three soil biologic treatment tanks, both sulfur and calcium carbonate were added to the lower soil layer to activate sulfur-oxidizing bacilli for nitrogen removal. It was found that these additions resulted in NO<sub>x</sub>-N being deoxidized and the T-N concentration of the treated water dropping to the level of the other two treatment methods.

**Keywords** : on-site household wastewater treatment plant, soil biologic treatment, bio-filter treatment, activated sludge treatment, endocrine disrupters , TOX formation potential