

# 気泡塔型曝気装置による排水処理性能の評価

田中 孝国\*<sup>1</sup>, 武笠 巨堯\*<sup>2</sup>, 川田 裕子\*<sup>3</sup>

Estimation of performance for waste water treatment  
by bubble column type aerator

Takakuni TANAKA, Kiyotaka MUKASA and Yuko KAWADA

As domestic waste water becomes the high density, treatment of waste water using septic tank gradually became difficult. Therefore, we showed a newly pretreatment unit ( Mashiko-Clean type III ) for septic tank. This characteristic of this unit is a bubble column type aerator of three towers, and it has strong aerating system. In this paper, we evaluated an ability of waste water treatment from various parameters with water analysis. As a result, this unit has degradability of carbon compounds in simulation waste water. COD and BOD were always less than a discharge lower limit value. On the other hand, there was not an anaerobic space, this unit could not removal nitrogen (nitrite nitrogen) and phosphorus compounds. To give the performance of this unit conventionally, we must improve setting (or auditioning) of the anaerobic areas and circulation function between the towers.

KEYWORDS : waste water treatment, bubble column type aerator, BOD, COD

## 1. 浄化槽の現状

下水道の普及していない地域の家庭用排水処理装置である浄化槽は、単独から合併へと変換が進んでいる。現在主流となりつつある合併浄化槽は、生活雑排水全ての処理が可能である。合併浄化槽の必要とされる排水処理能力は、現在の法律では BOD 除去率が 90%以上、放流水質では BOD 濃度が 20mg/L 以下と定められている<sup>1)</sup>。

合併浄化槽の維持費の多くは、装置の故障/交換

を除き、排水処理の際に生じる汚泥の引き抜きであると言われ、浄化槽利用者の負担が大きい問題として残されたままである。汚泥の増加は曝気槽内のエアレーションにおける巻き上げを強く惹起し、処理水に SS を流出させる原因<sup>2)</sup>であることから、浄化槽の沈殿槽後部に固液分離装置を取り付けて圧搾して汚泥の貯留量を高める手法<sup>3)</sup>等の処理が追加適用されている。しかし、コストの面も含めると汚泥問題の解決とは言い難い。特に近年の多種多様な排水中に含まれる油脂成分は、小型合併処理槽におけるトラブル事例の多くを占

\*1 物質工学科 (Dept. of Materials Chemistry and Bioengineering), E-mail: Tanakatakakuni@oyama-ct.ac.jp

\*2 物質工学科 5年 (Dept. of Materials Chemistry and Bioengineering)

\*3 関東グリコ株式会社 (Kanto Glico Co., Ltd., 2011 年度小山高専物質工学科卒業)

めていることが知られている<sup>4)</sup>。その対処法として、一般的には塩化ビニル<sup>5)</sup>やウレタンフォーム製<sup>6)</sup>の高分子ろ材を使用して(処理槽内の)嫌気部分における嫌気性細菌濃度を高めて処理能を強化した報告や、同様に無機素材であるゼオライトを使用した松山の報告<sup>7)</sup>があるが、一定レベルの分解菌濃度(処理能)の維持が問題であり、根本的な解決策とは言い難い。更に嫌気槽内に滞留する嫌気性菌濃度増加が浄化槽全体の排水処理能力の低下を起こすとの報告例が見られる<sup>11)</sup>ことから、浄化槽内の微生物分布を大きく変えることは出来ないと考えられる。中野らの報告によれば、浄化槽の処理性能(特にBODの安定的な分解)の維持は、曝気槽内のMLSS濃度、滞留時間、温度の管理が重要因子であり、ろ材等を使用して安易に微生物濃度を高めないことが重要であると述べている<sup>12)</sup>。

以上のように、浄化槽本体への改良は処理能のバランスが取りにくく、結果としてコストダウンにつながる傾向が見られる。特に、一定量の流入水が得られにくい家庭用浄化槽では、排水の濃度が日々不安定であることが、浄化槽の維持を難しくしている一因となっている。従って、浄化槽外の装置による解決策が提案された。

排水処理の基本装置として、気泡塔がある。気泡塔は、水中に気泡を生成、分散させて物質移動、熱移動や化学反応を行わせる手法である。排水処理に用いる場合は、空気を対象となる排水に吹きこみ、主に酸素による酸化反応で排水成分の分解を促進、または活性汚泥などのように微生物群を含む系では、微生物群に対して好氣的な場を提供し、好気微生物による生物代謝反応で酸化反応を行わせる。気泡塔のメリットは、吹きこまれた空気がバブルを形成することで、排水成分や団粒構造を取りやすい微生物群を物理的に破碎し、酸化作用による分解処理を強制的に起こさせることである。その反面、好氣的であり攪拌作用も持つことから、嫌気処理には向いておらず、同じ装置内での嫌気処理はろ材を用いる必要がある。排水の主成分である炭素源は、好気細菌群によって二酸化炭素と水に分解されるため、エアリフト型の反応装置はBODやCODの分解に適している。

処理後の水の放流基準は、自治体によって規制は異なるものの、栃木県では、合併処理浄化槽が日間平均値20mg/L以下と厳しい値である<sup>9)</sup>。浄化槽にも嫌気槽(一次貯留槽)はあるものの、排水濃度や温度の変動があっても、浄化槽の能力を維持

するためには、浄化槽の手前に何らかの装置の設置が考えられる。特に年々厳しくなると予想される放流基準値(BOD等)に対応するため、浄化槽の全段階に気泡塔を設置し、浄化槽にかかる負荷を下げる必要がある。従って、今回前処理装置の導入を試み、その評価試験を行ったので報告する。

## 2. 実験方法

### 2. 1 実験装置(マシコクリーン)

本実験で使用した装置は、企業委託の気泡塔型バイオリアクター(マシコクリーン、図1)である。

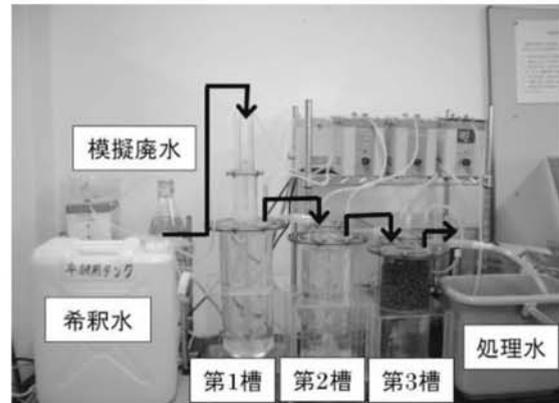


図1 気泡塔型バイオリアクター  
(マシコクリーンのミニチュア版, 約 1/70)

実験は連続培養とし、1槽目入口より模擬排水と希積水を一定流量(215mL/h)で同時に流入させ、ペリスタリックポンプにより2槽目、2槽目から3槽目に送り3槽目出口より、処理水のサンプリングを行った。

培養実験は、1, 2, 3槽全ての槽を曝気(通気量2.5mL/min)、温度(25-28℃)で行った。同時に、企業委託の微生物群をスターターとして、各槽に開始から1週間まで10mLずつ添加した。微生物群の増殖と槽への定着を目的として、連続培養開始前に1-2日の回分培養を同条件の曝気下で行い、微生物群を好氣的に増殖させる操作を行った。その後連続培養に移行した。また、3槽目には企業指定のろ材を200g入れた。使用したろ材の成分は、益子焼の破片を粉碎後に再焼結して固めたものである(図2)。このろ材は浮遊性が非常に高く、装

置内に水を満たした状態でエアレーションを開始すると上部圧密状態となり、ろ材間隙が大きいという特徴が見られた(図 2)。

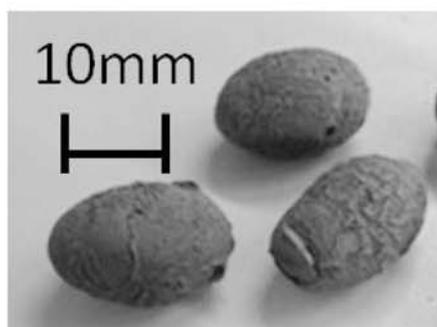


図2 第3槽目に入れたろ材

## 2. 2 測定項目

測定項目は、pH [-], ORP [mV], 濁度 OD660 [-], 乾燥浮遊物質量 MLSS [mg/L], 全窒素 T-N [mg/L], リン [mg/L], COD-Cr [mg/L], BOD [mg/L] の 8 種類を実施した。浄化槽において重要視されている BOD については、2.3 で詳しく述べる。

各測定項目の分析法については JIS に即している<sup>10)</sup>。排水処理を行う微生物群のスターターとして、株式会社レック EM 益子依頼の微生物溶液を添加した。模擬排水(表 1)と装置内の微生物溶液が接触すると発泡が激しく起こる現象が見られたため、消泡剤としてシリコンオイル(WAKO 010-17211 Antifoam PE-M)を数滴投入した。

表 1 の濃度を 1 倍濃度とし、5 倍、10 倍の 3 種類の模擬排水を準備して、それぞれの濃度について分解実験を行った。

表 1 模擬排水の組成(1 倍濃度)

試薬名	容量 [g]
グルコース(炭素源)	3.00
ポリペプトン(窒素源その他)	3.00
リン酸二水素カリウム(リン源)	0.15
水 (上記 3 成分溶解後 10L にメスアップ)	10 [L]

## 2. 3 BOD (Biochemical Oxygen Demand)

BOD(生物化学的酸素消費量)は、排水の有機物による汚染状態を示すパラメータである。現在の放流基準値は 20mg/L 以下であり、その値を満たした処理水のみ放流が許可されている。測定法は、サンプル中に従属栄養菌によって消費される有機物がどれだけあるかを暗所に 20°C で 5 日間放置したサンプル中の溶存酸素減少量から推定する(JIS K0102)。尚、処理する前の水質目安として、し尿(汲み取り便所) BOD が平均で 5,800mg/L (COD 2,500mg/L), 浄化槽汚泥 BOD が平均で 2,600mg/L (COD が 2,300mg/L)とされている。処理後の水質目安は、各自自治体で異なっているが、し尿処理施設の水質(BOD)は 20 mg/L 以下、単独浄化槽の水質は 90 mg/L 以下、合併浄化槽の水質は 20 mg/L 以下、下水道の水質も 20 mg/L 以下でなければならないとされている。

## 3. マシコクリーンの評価結果

マシコクリーンの特長は、強い曝気量による酸化排水処理である。従って、測定前に装置内外の DO (溶存酸素 [mg/L]) の測定を行った。マシコクリーンは、曝気状態の槽の外側は 0.00~0.10 未満、内側は 6.00~7.00 以内を示していた。外側は内側と比較すると嫌気状態をやや示していたが、細菌浮遊は見られないため(細菌濃度が低い)、脱窒などの嫌気性反応は起こりにくい状態だと考えられた(装置外側の ORP も酸化状態を示す+の値であった)。尚、図 3~のグラフ中の長期培養とは、1 倍濃度のデータを示す。

図 3 より pH は、模擬排水濃度 5 倍では初回の測定値が放流基準値を 0.2 上回ったが、以降は長期培養と同等に放流基準値内である中性域 5.8~8.6 [-] を示していたことが判明した。一方模擬排水濃度 10 倍では処理水の pH は強い酸性を示し、放流基準値を満たさなかった。10 倍濃度については、模擬排水の腐敗が培養開始 1-2 日後から起きてしまったことが原因であった。

図 4 の ORP は、溶液の酸化還元状態を調べる項目である。処理水の ORP 値は、100~200mV と正の値を示していたため、マシコクリーンはほぼ酸化状態であることが判明した。5 倍濃度における ORP 値の不安定さが観察されたが、原因は不明で

ある。マシコクリーンの強い曝気量であれば、通常は酸化状態であると考えられるため、測定ミスであると考えられた。

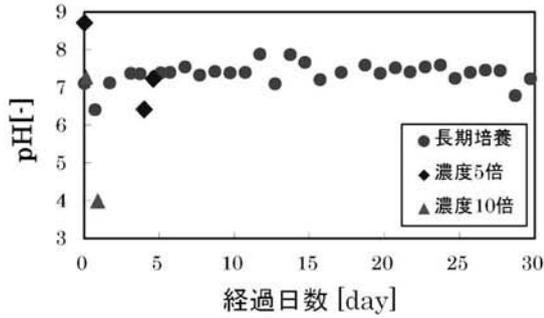


図3 模擬排水の濃度を変えた場合の pH の変化

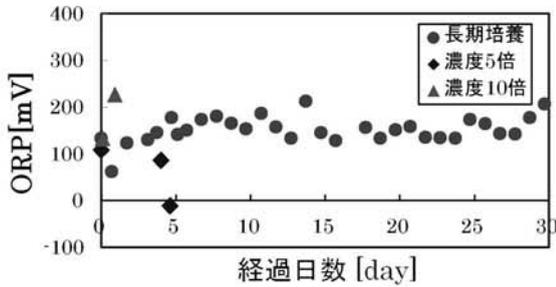


図4 模擬排水の濃度を変えた場合の ORP の変化

濁度(図 5), 排出浮遊物量(図 6)も模擬排水の濃度が上昇すると高めの値をとり、ばらつくことが判明した。10 倍濃度のデータ採取の際は、模擬排水腐敗により生じたバイオフィームにより、配管に詰まりが生じ、度々実験が停止した。また、浮遊物量減少を狙って、ろ材(図 2)の投入を行っているが、充填時の間隙が大きいため、ブロック状の細菌群は阻止したものの、細かな微粒子や処理しきれなかった溶液の色(10 倍濃度)は、通り抜けていた。

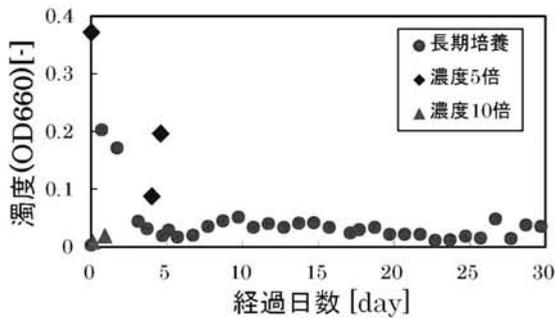


図5 模擬排水の濃度を変えた場合の ORP の変化

全窒素量(図 7), オルトリン酸(図 8)では測定値が安定せず、分解は全く見られなかった。ORP のグラフ(図 4)の結果と合わせて考えると、装置内に還元状態の部分の無いことが原因であると考えられた。またこれらの数値の放流基準値は、全窒素 0.2mg/L 以下、リン 0.015mg/L 以下である。両グラフより、全く満たしていないことが判明した。今後、嫌気槽の設置・槽間の循環機能の追加が必要であることが考えられた。

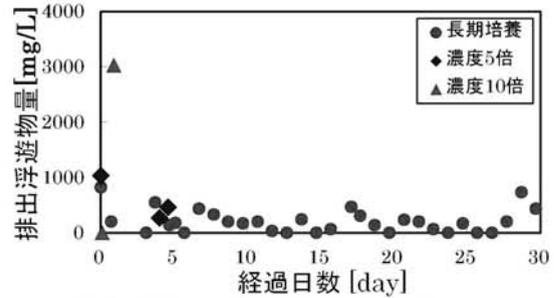


図6 模擬排水の濃度を変えた場合の 排出浮遊物量の変化

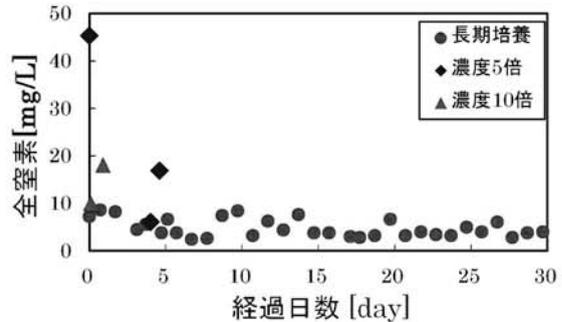


図7 模擬排水の濃度を変えた場合の 全窒素(T-N)の分解

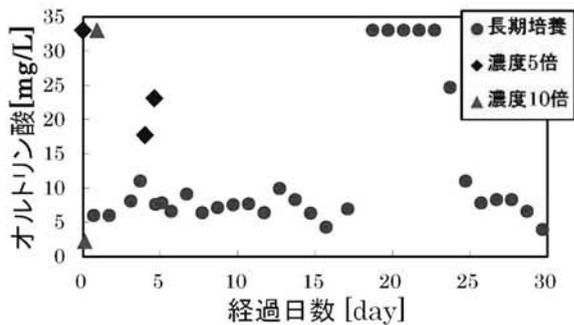


図8 模擬排水の濃度を変えた場合の オルトリン酸(P)の分解

図9の COD-Cr 値より、マシコクリーンは模擬

排水濃度 1.5 倍の範囲では放流基準値である 20mg/L 以下を満たすことが判明した。このことより、マシコクリーンは排水中の炭素源の強い分解処理能力を有していることがわかった。一方で、模擬排水 10 倍では測定値が安定せず、処理後の水も着色水であり、腐敗臭があった。排水の着色は曝気(好気)処理では取りにくいいため、もし濃い着色排水がマシコクリーンに流入した場合は、現状では処理が困難である。嫌気槽の追加もしくはオゾン等の別手法が必要であると考えられた。10 倍濃度の模擬排水がマシコクリーン内へ流入した場合、装置の内側から外側への模擬排水の拡散(移動)がかなり遅い(弱い)ことを視覚的に確認している。つまり、供給された模擬排水は装置内側(曝気部分)に長期滞留しており、強い酸化反応が曝気によって行われているものの、10 倍濃度を分解する曝気量では無いことが判明した。

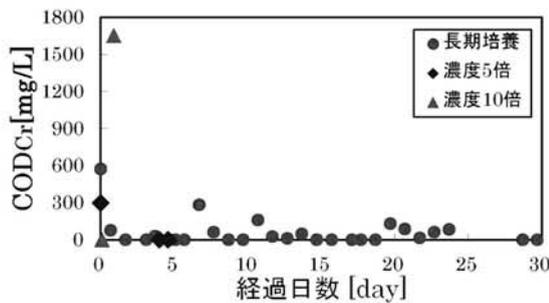


図9 模擬排水の濃度を変えた場合の処理水中の COD-Cr (化学的酸素要求量)

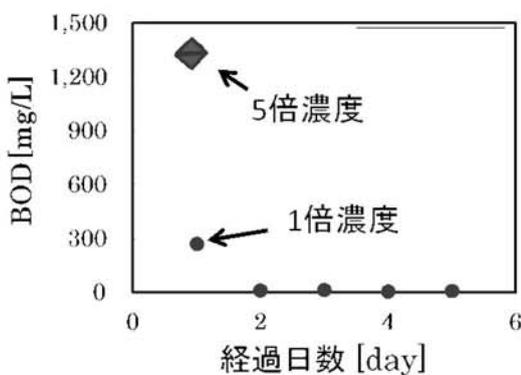


図10 模擬排水の濃度を変えた場合の処理水中の BOD (生物学的酸素要求量)

図10は、BOD の変化を示したグラフである。他の図と比較すると、実験の期間は短くなってしまったが、BOD は 5 倍濃度の模擬排水であっても問題なく 20mg/L 未満にまで分解されていた(図10

では 1 倍濃度のデータと重なっている)。尚、10 倍濃度のデータは腐敗により今回は採取出来なかった。

以上のデータより、1 倍濃度、5 倍濃度と 10 倍濃度の模擬排水分解の比較実験は、ばらつきが激しいデータであったことから、再度実験する必要があることがわかった。特に 10 倍濃度では培養中の腐敗を防止する方法を実施して実験を行わなければならない。そのため、模擬排水を供給する手法を変える等の措置を今後行いたい。

#### 4. まとめと今後の展望

マシコクリーンの各槽の内部底部から出るバブル(気泡, 泡)は、大小様々なサイズが混在する(視覚的に判断)。通常、気泡は大きなものが小さなものを吸収する傾向がある<sup>10)</sup>。従って、サイズを一定にする、もしくは、より小さな気泡(ナノバブル)を投入する等の案を今後試みると、より酸化効率が上昇すると思われる。

使用したろ材については、充填後の間隔が大きかったものの汚泥ブロックについては逃さず、ろ過を行っていた。従って、ろ材を 3 槽目に充填しておけば、マシコクリーン以外のろ材充填層は微粒子除去を問題にしなければ、特に必要ないと考えられた。ただし、内部にろ材を充填すると 3 槽目の底部に汚泥等が貯まると考えられた。ろ材を 3 槽目底部に貯留したままにせず外に出すか(ろ材を外して、汚泥等を外に設置した別の装置を用いてろ過を行う)、内部で留めておくか(汚泥等をろ材でトラップし、大量に溜まったらバキューム等で回収する)、判断しなければならない。

増加する汚泥については、流入排水の流速を上げる手法がマシコクリーンには適している。沈降汚泥を強い流れによって巻き上げ(槽内の上部へ上昇させる)、汚泥を沈降させない手法<sup>2)</sup>である。ブロックを強い流速で分散させ、微粒子にして流してしまう考え方である。

本実験では、脱窒とリン酸の除去が困難であった。通常の下処理施設の構造等<sup>12)</sup>を参考に、各槽間の循環方式を取り入れる、家庭用浄化槽として流通している嫌気性接触ろ床法<sup>13)</sup>に準じた槽もしくは、精密な流入排水量等の制御が必要である。もしくは、約 5 年間は無交換(定期的なメンテナンスは必要である)とされている膜分離式<sup>14)</sup>へ

の改良を行う等で、それぞれの成分除去が進行すると考えられた。

今後、浮遊物が多い排水(例えばディスポーザー排水は通常排水の約 1.5~2 倍の SS や BOD 成分を持つ<sup>15)</sup>) についても安定的な処理が可能な能力を持たせる手法、例えば今井らは、合併処理槽に段差を付けてオーバーフローとエアリフトによる曝気形式の組み合わせの効果について報告している<sup>16)</sup>。食の多様化に伴い未だに増加を続ける油脂分や洗剤成分を多く含んだ排水に対する処理槽の安定化対策(具体的には悪臭や BOD 悪化などに対して<sup>17)</sup>)、コンビニエンスストア設置浄化槽の必要なサイズの縮小問題(木佐貫の報告によれば、流入 BOD 量から考えると 31 人槽が最低でも必要である<sup>18)</sup>)といった問題への対処法が求められている。渡会らのグループも、槽内のろ材(担体)流動性や曝気量、汚泥の蓄積を機能改善の再優先課題として上げている<sup>19)</sup>が、報告から 10 年経過する現在も明確な解決策は無いのが現状である。

今後とも、浄化槽負荷の改善に向けて装置の改良を進めていきたい。

#### 謝辞

委託研究先である、株式会社レック EM 益子の方々に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 本間都・坪井直子: 合併浄化槽入門, 北斗出版, pp.95-109 (1995)
- 2) 田畑洋輔, 中西健, 中島淳: 浄化槽一次処理槽における底部流速が汚泥巻き上げに及ぼす影響, 環境技術, Vol.39, No.2, pp.731-737 (2010)
- 3) 竹下文博, 田宮 道夫, 竹田 久人, 千葉祐治: 掛川市における浄化槽汚泥の処理事例, 浄化槽研究, Vol.16, No.3, pp.1-6 (2004)
- 4) 見手倉幸雄, 古崎康哲, 石川宗孝: ゼロエミッション型農業集落排水施設への更新と LCA 手法, 農業土木学会誌, Vol.70, No.12, pp.1085-1088 (2002)
- 5) 田所正晴, 桜井敏郎: 小型合併浄化槽の処理機能に及ぼす油分の影響, 用水と廃水, Vol.36, No.9, pp.10-17 (1994)
- 6) 小川雄比古, 下高原博美, 佐藤洋子, 大野茂, 立本英機: ウレタンフォーム担体を用いた流動床型小規模合併処理浄化槽の開発, 用水と廃水, Vol.39, No.6, pp.510-516 (1997)
- 7) 松山 秀明: 流動式担体活性汚泥法による油脂の効率的分解, 用水と廃水, Vol.35, No.7, pp.27-34 (1993)
- 8) 矢野明司: 小型浄化槽におけるディスポーザー排水処理の実証実験と今後の方向, 浄化槽, No.375, pp.27-33 (2007)
- 9) [http://www.tochigi-jyokaso.or.jp/pdf/processing\\_standard\\_in\\_site.pdf](http://www.tochigi-jyokaso.or.jp/pdf/processing_standard_in_site.pdf): 社団法人 栃木県浄化槽協会, 浄化槽放流水の敷地内処理に関する指導基準(準則)より
- 10) 並木博 編: 詳解 工場排水試験方法, 日本規格協会 (1986)
- 11) 安田 啓司, 坂東 芳行: マイクロバブルを気泡塔に分散させた際の流動特性および分解性能, 混相流, Vol.23, No.1, pp.12-19 (2009)
- 12) タクマ環境技術研究会 編: 下水・汚泥処理の基礎, オーム社, pp.46-47 (2005)
- 13) 笠 文彦: 家庭用小型浄化槽の技術動向, 環境技術, Vol. 33, No. 9, p. 651 (2004)
- 14) 大森 英昭: 膜分離活性汚泥法を用いた小型合併処理浄化槽の維持管理の評価と望ましい改善事項, 用水と廃水, Vol. 47, No. 4, pp. 320-324, (2005)
- 15) 石垣 力, 山下 宏: ディスポーザー排水対応浄化槽, 環境技術, Vol. 33, No. 9, pp.671-675 (2004)
- 16) 今井剛, 深川勝之, 浮田正夫, 関根雅彦, 樋口隆哉: 改良型合併浄化処理浄化槽における厨芥と生活排水の同時処理に関する研究, 環境技術, Vol.30, No.10, pp.810-817 (2001)
- 17) 安彦和行, 高橋雪信, 手戸康彦: 小型合併処理浄化槽における水質悪化の原因確認検査結果と課題, 月刊浄化槽, No.300, pp.13-20 (2001)
- 18) 木佐貫 隆: 高負荷流入条件にあるコンビニエンスストア設置浄化槽の水質改善事例, 用水と廃水, Vol. 49, No. 8, pp.703-709 (2007)
- 19) 渡会 昌一, 川本 義二, 石川 勝: 小容量型小型合併処理浄化槽の実態と機能改善に関する検討, 浄化槽, No.319, pp.14-20 (2002)

【受理年月日 2012年 8月6日】