小規模合併処理浄化槽の処理水性状と 循環運転による窒素除去

藤 村 葉 子* 中 島 淳*

Effluent Water Quality of Small-scale On-site Treatment Facilities for Household Wastewater and Nitrogen Removal Performance with Recycle Operation

Yoko FUJIMURA* and Jun NAKAJIMA*

* Chiba Prefectural Laboratory of Water Pollution, 3-5-1, Inagekaigan, Mihama-ku, Chiba, 261-0005 Japan

Abstract

Practical performance of ten individual type gappei-shori johkasous, on-site treatment facilities for household wastewater, were surveyed during a one year period. Effluent BOD and COD were below $20\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ with a cumulative frequency of 70% and 80%, respectively. Mixed liquor in the contact aeration tank was recycled to the first chamber of the anaerobic filter tank in the five facilities of which their airlift type pumps could be used to transfer sloughed biofilm. Only one notch type system could easily regulate the amount of the recycled water as $3\sim 4Q$ where Q was the influent water amount per day, while the amount of recycle changed frequently in the other four facilities. The effluent BOD, N-BOD, T-N, $\text{NO}_3\text{-N}$ and DKN concentrations were reduced during the recycle operation. Their average values in the recycle mode were $12\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $4.5\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $10\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $4.9\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ and $4.3\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, respectively. It was clear that the biological denitrification took place during the recycle operation resulting in the decrease not only in T-N and $\text{NO}_3\text{-N}$ but also in N-BOD which also caused the decrease of BOD. A number of operations in different recycle ratio suggested that effluent T-N could be around $10\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ with the recycle ratio below $10Q$, and it would be over $20\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ with the recycle ratio near to $20Q$.

Key words: domestic wastewater treatment, individual gappei-shori johkasou, on-site treatment, recycle operation, nitrogen removal

1. はじめに

家庭用の小規模合併処理浄化槽は重要な生活排水対策として積極的な普及がはかられている¹⁾。平成7年には尿尿浄化槽構造基準に窒素除去性能を有する小規模合併処理浄化槽が追加され^{2,3)}、また、より高性能な小規模合併処理浄化槽の開発も進められている²⁾。

一方、実際に使用、稼働している家庭用の小規模合併処理浄化槽における栄養塩類を含む調査報告例は比較的少なく⁴⁻⁸⁾、実使用現場における稼働状況の把握のためには、より多くの実態調査データが必要とされる。

そこで筆者らは、比較的最近設置された家庭用の小規模合併処理浄化槽を対象に処理水の水質調査を実施し、その処理性能について検討した。また、エアリフトポンプにより、接触ばっ気槽内汚水を嫌気汙床槽第1室へ強制移送することが可能な施設について、窒素除去を目的

とした常時移送運転（以後循環運転と称す）を試み、循環運転の方法とその処理水水質に与える影響について検討した。

2. 調査方法

2.1 調査対象施設

調査対象施設は、概要を Table 1 に示す家庭用の小規模合併処理浄化槽10基である。処理対象人員は5～8人、実使用率は40～120%であり、使用開始は昭和63年8月から平成6年5月までの間であった。処理方式は嫌気汙床接触ばっ気方式8基、沈殿分離接触ばっ気方式2基であり、嫌気汙床接触ばっ気方式のうち平成5年6月以後使用開始の5基（A～E施設）は全浄協（全国合併処理浄化槽普及促進市町村協議会）に登録された浄化槽であった。これらは剥離汚泥の移送方法がエアリフトポンプを用いた強制移送方式であり、接触ばっ気槽内汚水を嫌気汙床

* 千葉県水質保全研究所 〒261-0005 千葉県美浜区稲毛海岸 3-5-1

Table 1 Characteristics of the surveyed facilities

House	Type*	Capacity Number of Users	Actual number of users	Start of Operation
A	I	5	2	1994.May
B	I	6	3	1993.Nov.
C	I	5	3	1994.May
D	I	6	3	1993.Jun.
E	I	6	4	1994.Mar.
F	II	8	5	1993.Apr.
G	II	6	4	1992.Nov.
H	III	6	7	1988.Aug.
I	III	8	3	1990.Oct.
J	II	6	3	1991.Sep.

Notes: A ~ E are the type of "Zen-Jyoh-Kyoh"

* I : Anaerobic filter-contact aeration process
(Possible to recycle the mixed liquid)

II : Anaerobic filter-contact aeration process
(Impossible to recycle the mixed liquid)

III : Sedimentation separation-contact aeration process
(Impossible to recycle the mixed liquid)

槽第1室へ循環運転することが可能な構造であった。

2.2 調査の時期と試料の採取

調査は、平成6年8月から平成7年5月までほぼ月1回、午前9時~12時の間に沈殿槽上澄み水（消毒前）を採取し分析をおこなった。

2.3 水質分析

調査項目は水温、透視度、pH、SS、BOD、ATU-BOD、COD、T-N、溶解性T-N（5種C濾紙による濾液のT-N）、NO₂-N、NO₃-N、T-P等である。分析方法はT-Nを全窒素分析計（接触熱分解-化学発光法）、NO₂-N、NO₃-NをHPLC（UV検出器付）で測定し、その他は常法に従った。

またBODとATU-BODの差をN-BOD、溶解性T-Nと（NO₂-N+NO₃-N）の差をDKN（溶解性ケルダール窒素）とした。

3. 結果と考察

3.1 循環運転の状況

調査対象とした10施設はいずれも循環運転を前提とした構造ではないが、A~E施設については接触ばっ気槽内汚水を嫌気汚床槽第1室へ強制移送することが可能であったため、循環運転を試みた。これらのうち、D施設はせき式分水装置によって循環水量を調整することが可能であり、せき高の調整およびエアリフトポンプの送気量を増減させて循環水量を調整した。他の施設ではエアリフトポンプの送気量の調整のみで循環水量を調整せねばならなかった。

循環水量の測定は、循環用移送管の嫌気汚床槽第1室側の出口において目盛り付きポリ容器で循環水を受け、満水時間を測定した。また、1日当たりの浄化槽への流入水量を $Q = \text{実使用人数} \times 200 \text{ l} \cdot \text{d}^{-1}$ と仮定し、1日当たりの循環水量が流入水量の何倍に当たるかを循環比（Q）として表した。

循環運転調査において、当初、循環比は循環脱室に適当といわれる3Q~4Qに設定しようとした。しかし、

Fig. 1 Change in the recycle ratio (C)

Fig. 2 Change in the recycle ratio (E)

Fig. 3 Change in the recycle ratio (D)

Fig. 1, 2に示すようにD施設以外では3Q~4Qの初期設定ではほとんどの場合、1カ月以内に循環運転が停止し、継続した運転は困難であった。この原因はエアリフト部の目詰まりにより小流量の安定した送気量が保たれなかったためと考えられた。そこで、これらの施設においてはエアリフトポンプの送気量を増加させ、循環比の初期設定を4Q以上とし（Fig. 1, 2の2月以降）、循環運転を行ったところ、循環比は低下したが3カ月の間、循環は継続した。

D施設においては、せき式分水装置の目詰まりに伴い循環水量が上昇する構造となっているため、Fig. 3に示すように循環水量が若干上昇した場合があった。また、3月には保守点検に伴う循環停止操作が見られたが、その他はほぼ設定比に近い循環比を保っていた。

3.2 水質測定結果

3.2.1 水温変動および接触ばっ気槽のDO

本調査対象施設における気温、水温および接触ばっ気

Fig. 4 Air temperature (AT), water temperature (WT) and DO in the contact aeration tank (I)

Fig. 5 Air temperature (AT), water temperature (WT) and DO in the contact aeration tank (D)

槽のDOの調査例をFig. 4, 5に示す。気温、水温は1月～2月に最低値となり、最低水温はI施設(Fig. 4)の10℃、最低気温はD施設(Fig. 5)の6℃であった。また、いずれの施設においてもブロワーは正常に作動しており、接触ばっ気槽内DOは1.9～11.2mg・l⁻¹の範囲であった。

3.2.2 処理水質

本調査結果における処理水質(BOD, COD, T-N, T-P)の全測定値の頻度分布はFig. 6～9のとおりであった。BODは10mg・l⁻¹以下の頻度が一番高く、測定値の約70%が20mg・l⁻¹以下であり、CODは10～20mg・l⁻¹の頻度が一番高く、測定値の約80%が20mg・l⁻¹以下と合併処理浄化槽としてはおおむね良好な処理水質であった。また、T-Nは10～20mg・l⁻¹の頻度が一番高く、測定値の約60%が20mg・l⁻¹以下、T-Pは3～4mg・l⁻¹の頻度が一番高く、測定値の約70%が4mg・l⁻¹以下であった。

処理水質の平均値と変動幅をTable 2に示した。A～E施設の処理水質を循環運転時(水質調査時に循環が継続していたもの)と非循環運転時(水質調査時に循環が停止していたもの)に分けてみると、BOD, N-BOD, T-N, NO₃-N, およびDKNは、循環運転時に低くなる傾向がみられた。これらの項目の非循環運転時平均値はそれぞれ17mg・l⁻¹, 11mg・l⁻¹, 32mg・l⁻¹, 23mg・l⁻¹および7.0mg・l⁻¹であったが、循環運転時では12mg・l⁻¹, 4.5mg・l⁻¹, 10mg・l⁻¹, 4.9mg・l⁻¹, および4.3mg・l⁻¹と、特にT-N, NO₃-Nの値の低下が顕著であった。なお、

Fig. 6 Distribution of the effluent BOD

Fig. 7 Distribution of the effluent COD

Fig. 8 Distribution of the effluent T-N

Fig. 9 Distribution of the effluent T-P

Table 2 Water quality of the effluents

	A ~ E				F ~ J	
	with recycle (n=22)		without recycle (n=28)		without recycle (n=40)	
	Range	Average	Range	Average	Range	Average
BOD	2.7 ~ 41	12	2.3 ~ 51	17	2.7 ~ 127	21
ATU-BOD	0.9 ~ 33	7.3	1.2 ~ 25	5.2	1.6 ~ 41	8.8
N-BOD	0.5 ~ 29	4.5	0 ~ 46	11	0 ~ 86	13
COD	9.1 ~ 47	17	7.7 ~ 38	16	7.1 ~ 47	17
SS	1 ~ 36	9.0	0.5 ~ 44	11	2 ~ 63	14
T-N	2.9 ~ 27	10	8.6 ~ 74	32	7.1 ~ 40	20
NO ₃ -N	0.07 ~ 16	4.9	2.3 ~ 56	23	0.03 ~ 29	7.2
DKN	0 ~ 11	4.3	0 ~ 23	7.0	0 ~ 37	11
T-P	1.6 ~ 5.1	3.2	1.5 ~ 7.6	4.3	0.31 ~ 5.3	2.3

循環運転が最も安定していたD施設では上記の傾向が安定して得られた。

この循環運転時のT-N濃度は循環運転を実施したこれまでの調査例^{7~11)}と近い値であった。

他方、ATU-BOD、COD、SS、T-Pについては、循環運転の有無による違いは比較的小さく、これらの項目のA~E施設、F~J施設の平均値はそれぞれ5.2~8.8 mg・l⁻¹、16~17mg・l⁻¹、9.0~14mg・l⁻¹、2.3~4.3mg・l⁻¹の範囲となり、過去の調査例^{5~7)}に近い値であった。

3.3 処理水質項目間の関係

3.3.1 SSとBODの関係

本調査結果によるSSとBODおよびATU-BODの関係はFig. 10、Fig. 11に示すとおりで、これまでの調査例と同じく相関が見られた。SSとN-BODの相関はこれらよりも低かった (Fig. 12)。SSはATU-BOD、N-BODの両者に寄与があり、その相乗作用としてBODと高い相関が生じたといえる。

3.3.2 BODとN-BOD、ATU-BODの関係

BODとN-BOD、ATU-BODの関係はFig. 13のとおりであり、いずれにも相関がみられた。また、回帰直線の傾きから、N-BODの大小がBODの値に大きく影響していることがわかる。

3.3.3 T-NとNO₃-N、DKNの関係

T-NとNO₃-Nの関係はFig. 14に示すとおり高い相関がみられ、T-NとDKNの相関は低かった (Fig. 15)。また、本調査結果ではT-Nに対するNO₃-Nの占める比率が、A~E施設における非循環運転時の平均値で72%、循環運転時は49%であり、松井ら⁹⁾の報告よりも高い傾向がみられた。

他方、A~J施設の非循環運転時には、施設別のNO₃-N/T-Nと接触ばっ気槽のDOとの間に正の相関がみられ (Fig. 16)、接触ばっ気槽のDOの高い施設においてNO₃-N/T-Nが高かった。

3.4 循環運転による水質改善

前述のように、BOD、N-BOD、T-N、NO₃-N、およびDKNは、施設A~Eにおける循環運転時に減少傾向がみられ、特にT-N、NO₃-Nの減少が顕著であった。これは循環運転により、嫌気汚床槽において生物脱窒が

Fig. 10 Relationship between SS and BOD in the effluents

Fig. 11 Relationship between SS and ATU-BOD in the effluents

生じたため、NO₃-Nが減少し、T-Nの低下に寄与したものと考えられる。

循環運転時におけるBODの減少については前述のBODとN-BODの関係等から、N-BODの減少によ

Fig. 12 Relationship between SS and N-BOD in the effluents

Fig. 14 Relationship between T-N and $\text{NO}_3\text{-N}$ in the effluents

Fig. 13 Relationship between BOD and ATU-BOD, N-BOD in the effluents

Fig. 15 Relationship between T-N and DKN in the effluents

るものと考えられた。N-BOD は処理水中に $\text{NH}_4\text{-N}$ が残存し、かつ SS (硝化菌が付着) が流出する場合に高くなると考えられている。本調査においても Fig. 17 に示すように、N-BOD が $20\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上のときにはほとんどの場合 DKN, SS がともに $10\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上であり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の多量の残存と硝化菌の流出が N-BOD の増加の原因と考えられた。

また、本調査では非循環運転時と循環運転時における SS の違いは小さく、DKN 平均値は循環運転時に減少していること等から、循環運転時の N-BOD の減少は、主に DKN ($\text{NH}_4\text{-N}$) の減少によるものと考えられた。

また、循環運転時の DKN の減少から、循環運転時には硝化の進行も促進する⁹⁾ことが示唆された。

3.5 循環比と窒素除去

循環比と処理水 T-N の関係を Fig. 18 に示す。処理水 T-N は循環比 10Q 以下では $10\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 前後であったが、20Q 近くでは上昇する傾向がみられた。これは循環を過剰に行うことにより、接触ばつ気槽内の酸素が嫌気汚床槽へ持ち込まれ、脱窒性能が悪化したためと考えられる。窒素除去を目的とした循環運転において、嶋津ら¹¹⁾は 5 Q 程度まで、謝ら¹²⁾は 6.5Q 程度までの循環比上昇ならば脱窒性能への影響は少ないと報告しているが、本調査においては 10Q 程度までは処理水 T-N に変化が

Fig. 16 Relationship between DO in the contact aeration tank and $\text{NO}_3\text{-N}/\text{T-N}$ at without recycle on each house

みられなかった。

本調査では本来の窒素除去型の浄化槽を対象としておらず、剥離汚泥移送管を用いて循環を試みた。しかしながら、エアリフトポンプを用いた循環だけでは安定した循環量が得られなかったことから、窒素除去型の浄化槽において循環水量を安定させるためには、循環水計量ボックスの設置、間欠定量ポンプの使用¹³⁾などが好まし

Fig. 17 Relationship between N-BOD and SS in the effluents

Fig. 18 Relationship between recycle ratio (Q) and T-N in the effluents

いと思われる。

4. まとめ

一般家庭に設置された家庭用の小規模合併処理浄化槽を対象に実態調査を実施し、また一部について、循環運転を前提とした構造ではないが循環運転を試みた結果、その処理性能について以下のことが明らかとなった。

1) せき式分水装置を有する1施設では循環比3～4Qの連続循環運転が可能であったが、エアリフトポンプの送気量による調整のみの施設では水量の調整が困難であり、循環運転を続けるためには循環比をさらに上げる必要があった。

2) 全調査結果における処理水質は、BODは約70%が $20\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下、CODは約80%が $20\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下、T-Nは約60%が $20\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下、T-Pは約70%が $4\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下と小規模合併処理浄化槽としておおむね良好な水質であった。

3) BODはATU-BOD、N-BODそれぞれとの間

に相関がみられ、BODの高値の多くはN-BODの上昇によるものと考えられた。

4) N-BODが $20\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上の処理水ではDKNおよびSSがともに $10\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ を超える場合がほとんどであり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の多量の残存と硝化菌の流出がN-BOD増加の原因と考えられた。

5) 循環運転により処理水のBOD、N-BOD、T-N、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、およびDKNが減少し、それぞれの循環運転時の平均値は $12\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $4.5\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $10\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 、 $4.9\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ および $4.3\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。

6) 循環運転時におけるT-N、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の減少は生物脱窒によるものであり、BODの減少は、N-BODの減少によるものと考えられた。N-BODの減少は主に $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少によるものと考えられた。

7) 循環運転時の循環比は、10Q以下ならば処理水T-Nは $10\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 前後であったが、20Q近くになるとT-Nが上昇する傾向がみられた。

謝 辞

本調査の実施に当たって御協力いただいた千葉市清掃局業務部業務第二課に感謝いたします。

(原稿受付 1997年9月26日)

(原稿受理 1997年11月30日)

参 考 文 献

- 1) 小野洋 (1996) 浄化槽によるし尿および生活雑排水処理の現状と展望, 水環境学会誌, **19**, 178-183.
- 2) 須藤隆一, 稲森悠平 (1996) 高度処理対応型浄化槽の開発, 水環境学会誌, **19**, 196-206.
- 3) 稲森悠平 (1996) 生活排水対策としての浄化槽の構造基準改正の概要, 月刊浄化槽, **241**, 35-40.
- 4) 石丸尚志, 出口修一, 野口芳夫, 清家英志 (1991) 小型合併処理浄化槽放流水の日間変動, 第5回全国浄化槽技術研究集会講演要旨集, 2-6.
- 5) 松井優實, 鈴木富雄, 小沢秀明, 上島和哉夫, 伊東秀一, 野村幸弘, 降旗敦海 (1992) 小型合併処理浄化槽による生活排水の処理(III) 一家庭用小型合併処理浄化槽における放流水の実態一, 長野県衛生公害研究所報告 **15**, 6-10.
- 6) 小川雄比古, 田所正晴, 大野茂 (1995) 小型合併処理浄化槽の処理機能の実態, 用水と廃水, **37**, 705-710.
- 7) 倉持隆, 服部敏之, 河合茂, 井上誠一, 山本康次 (1993) 窒素除去型小規模合併処理浄化槽の機能検証に関する調査, 月刊浄化槽, **209**, 38-44.
- 8) 稲好直彦, 福嶋勝彦 (1993) 高度合併処理浄化槽による大分県直川村の生活排水対策, 月刊浄化槽, **210**, 16-26.
- 9) 宮本涼一, 佐藤八郎, 笹川猛, 稲森悠平 (1991) 嫌気・好気循環汚床法による有機物, 窒素の高度処理, 公害と対策, **27**, 832-836.
- 10) 北井良人, 佐藤八郎 (1993) 家庭用合併処理浄化槽の窒素除去機能の安定化, 月刊浄化槽, **207**, 22-28.
- 11) 嶋津暉之, 志村真理, 井上互, 木村賢史 (1988) 家庭用合併処理浄化槽の処理水質向上に関する研究, 用水と廃水, **30**, 462-470.
- 12) 謝維民, 近藤雅夫, 岡林正浩 (1994) 小型合併浄化槽の処理性能考察, 第28回日本水環境学会年会講演集, 536-537.
- 13) 日本建築センター (1996) 尿尿浄化槽の設置基準・同解説, pp. 219-220.