

新しい家庭用浄化槽の開発

深川勝之*・原田利男*

Development of New Small-scale on Site Wastewater Treatment System

Masayuki Fukagawa, Toshio Harada

Abstract

Small-scale onsite wastewater treatment system was proposed below a new thought. In other words, current type is oblong in a horizontal direction and the proposed type is lengthwise in a vertical direction. The proposed type may be called deep type. And the current type has one inflow mouth, but the proposed type has two inflow mouths. The nightsoil that is high density wastewater flows into tank for only nightsoil. The small-scale onsite wastewater treatment system planned below such thought was established in general home and was examined. Several experiments were carried out to find a way acting effectively for the inflow load changes and the experiment result was examined comparison. As a result when discharge was regulated in last settling tank, the good quality of the water provided. Water was turned over from last settling tank to anaerobic tank and flow regulation was carried out, but this way was equal with the current way.

1. 緒言

日本における生活排水の処理は、下水道、し尿くみ取り、し尿浄化槽などが行われてきたが、近年生活雑排水を含めた、小型の合併処理浄化槽が急速に普及してきている。その理由に、下水道の普及があまり期待されないかあるいは困難なところに居住している人々の快適な生活を望んだり、環境保全に対する意識の変化などが挙げられる。厚生省は家庭排水（雑排水を含む）の処理を高度に処理する必要性を明らかにしてきている¹⁾。

この種の研究はかなり行われるようになってきているものの²⁻⁵⁾、抜本的な新しい考えは出てきていない。中西⁶⁾は、生活排水処理施設の性能比較を行い、小規模合併処理浄化槽は大規模施設に比べて不利な点が多く、克服すべき課題の多いことを指摘している。著者らは、一層の環境に対する配慮と水利用の立場から新しい小型合併処理浄化槽のシステムを提案する。現

在の水利用の思想は上流に巨大なダム湖を造り、下流に立地している企業群や大都市で消費され、その利用済みの水の多くは再利用されることなく、河川および海に放流させるというものである。一方、家庭における合併処理浄化槽処理水は域内に排出される。したがって、一層高度に処理されることが要求されるのである。本研究は、この点に留意して行われたものである。

下水道に対する国家あるいは自治体からの補助に比べて、個人的な設備と取られるこの種の小型合併処理浄化槽は現状では設備および維持して行く上でかなり不利となっている。それにもかかわらず普及が進んでいるのは、ひとえに前記理由によるものである。個人の好意に甘えているといってもよいであろう。

2. 実験装置

実験は、小型合併処理浄化槽を民家に設置した5人槽であるが、従来型とは異なる。従来型のもの、厚生省で定められた基準にそって

* 宇部工業高等専門学校物質工学科

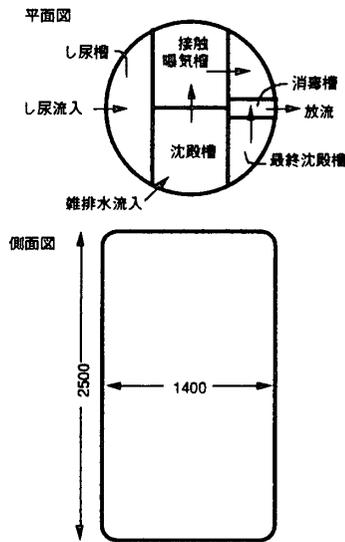


図1 本実験で用いた合併処理浄化槽

なくてはならないが、本装置は形状、容量とも異なっている。従来型の代表的な小型合併処理浄化槽と本研究で用いた装置の平面図と側面図をそれぞれ図1、2に示す。従来型は、雑排水とトイレ排水の流入口は同じであり、第一沈殿槽に流入する。このうち第一世代の小型合併処理浄化槽は、すべて装置内をオーバーフローさせて移流させていたが、流入、流出の非定常性により、処理水水質に問題が生じることが指摘されて以来、逆流させることによりバッファ機能を持たせ、この種の問題を解決できるようになってきている。

本装置における特徴は、第一にトイレ排水はし尿沈殿槽へ、雑排水は最初沈殿槽に流入させている。これは、先の研究⁷⁾で明らかになった、嫌気槽における滞留時間1日での汚泥分解速度が0.08 g/l、であったところから、汚泥の大部分がし尿由来であるからこれを別の沈殿槽として設けることにより、十分な滞留時間(沈殿による効果)を得ようとしたものである。第二に深型としているところである。表1は従来型の小

表1 従来型と本装置の容積比較

	し尿槽	第一嫌気槽	第二嫌気槽	接触曝気槽	最終沈殿槽 (消毒槽を含む)	計
本装置	0.811	0.980		0.914	0.615	3.32
	1.791				1.529	
従来型		1.000	0.510	1.000	0.360	2.87
		1.510			1.360	

(単位はm³)

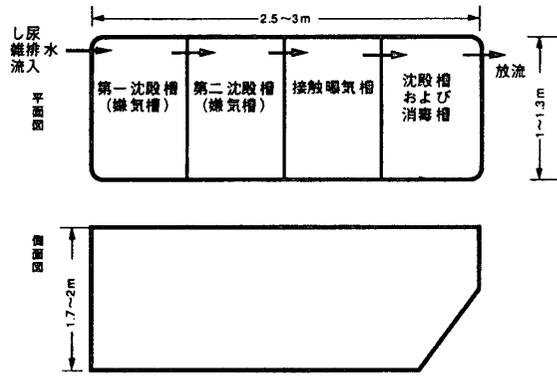
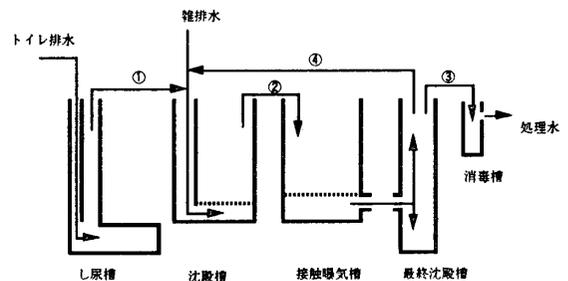


図2 従来型の合併処理浄化槽

型合併処理装置との容積比較である。従来型の第一嫌気槽と第二嫌気槽の合計容量は1.510m³、本装置のし尿槽と嫌気槽の合計容量は1.791m³であり、本装置では従来型より大きくしてある。これは、トイレトーパーなどの汚泥の溶解に必要な時間をできるだけ多くとるためのものである。接触曝気槽と最終沈殿槽については、従来型が1.360m³、本装置が1.529m³で、若干大きくしてある。これは、あとに述べるように最終沈殿槽から消毒槽へエアリフト移送させ、その結果曝気槽の滞留量が減少する。その差を保証するために大きくしているものである。このことについては後に詳しく述べる。

3. 実験方法

本実験を行った家庭は大人4人で、うち2人は家で過ごすことが多い。図3にフローを示した。し尿槽下部へし尿を導入し、固形物を沈殿



実験A ①オーバーフロー②オーバーフロー③オーバーフロー
 実験B ①オーバーフロー②オーバーフロー③エアリフト
 実験C ①オーバーフロー②オーバーフロー③エアリフト④エアリフト
 実験D ①オーバーフロー②エアリフト③エアリフト④エアリフト

図3 合併処理フロー

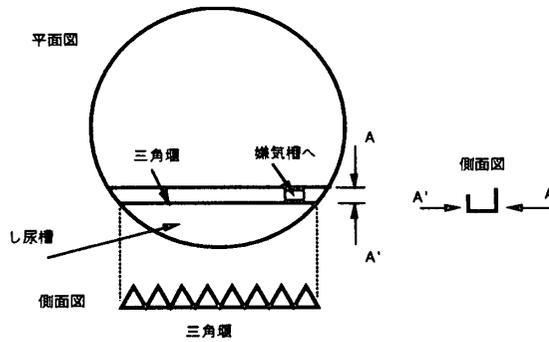


図4 し尿槽からのオーバーフローの方法

させる。固形物をわずかに含んだ排水がオーバーフローにより沈殿槽へ移流する。オーバーフローの形式を図4に示した。実験の都合上上部は解放されており、このため、スカムの発生により支障をきたす場合もあり、実用的には問題がある。この部分は全実験を通して同じ方法で行った。嫌気槽にはし尿槽からの移流と雑排水が流入する。バイオコードを10cm間隔で充填してある。接触曝気槽には、1lのペットボトルを3分割したものを充填した。見かけ充填容積は槽の3分の1程度であるが、実容積は6l程度であった。最終沈殿槽は下部に汚泥が沈殿するようになっているが、接触曝気槽へはそのままでは返送できないようになっている。汚泥返送を行わない場合には汚泥はここに沈殿するために、浮上してきて実験に支障をきたすことがある。小型合併処理浄化槽は水量変動が大きくその影響は大きい⁸⁾。実験は、移送方法を変えることにより4通りについて行った。実験B、C、Dではエアリフトによる移送を行ったが、その量を表2に示した。また、エアリフト移送する場合、流入がないときは、好気槽と沈殿槽の水位はエアリフト流入部の高さまで

表2 エアリフト移送量

	沈殿槽→消毒槽	沈殿槽→嫌気槽	嫌気槽→好気槽
実験1	0	0	0
実験2	約90	0	0
実験3	約124	約10~28	0
実験4	約60	約190	約60

(単位はl/h)

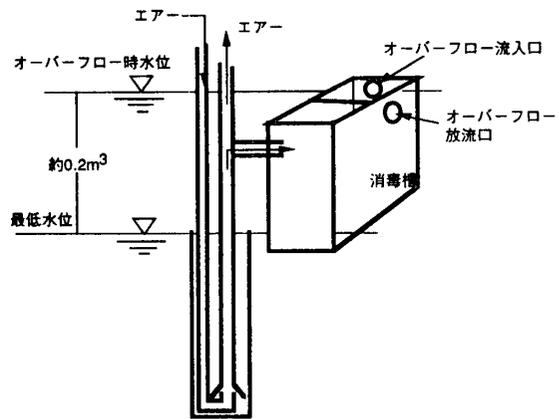


図5 エアリフト移送の様子

低下する。このようにすることにより急激な流入があるときは、この容量がバッファの役割を果たすことになり、有効に機能することになるのである。この様子を沈殿槽から消毒槽の場合について図5に示した。運転条件を移流方法について表3、温度について表4に示す。

実験Aは、すべてオーバーフロー方式である。この実験では流入量と流出量は一致する。

実験Bは、沈殿槽から消毒槽へエアリフト移送した。水位は最高レベルと最低レベルで約0.2m³の容積差を持たせた。エアリフト移送

表3 各実験における移流方法

	移流方法				
	し尿槽 →嫌気槽	嫌気槽 →好気槽	好気槽 →沈殿槽	沈殿槽 →消毒槽	消毒槽 →放流
実験1	オーバー フロー	オーバー フロー	底部移流	オーバー フロー	オーバー フロー
実験2	オーバー フロー	オーバー フロー	底部移流	エアリフト	オーバー フロー
実験3	オーバー フロー	オーバー フロー	底部移流	エアリフト	オーバー フロー
実験4	オーバー フロー	エアリフト	底部移流	エアリフト	オーバー フロー

表4 実験温度

	し尿槽	嫌気槽	好気槽	沈殿槽
実験1	16.4~18.8	17.5~21.3	17.9~18.5	—
実験2	—	15.8~17.9	16.1~17.3	—
実験3	—	14.7~18.2	14.2~16.7	15.3~16.8
実験4	26.6~27.2	26.9~28.3	27.1~27.7	—

(単位は℃)

量は約 90 l/h であるから、2 時間強でこの量が排出されることになる。

実験 C は、沈殿槽から消毒槽へエアリフトで移送し、同時にエアリフトで嫌気槽へ還流させた。嫌気槽への還流量も沈殿槽のレベルによって変化する。この実験ではエア量が少なかったため、還流量は 10~28 l/h で、必ずしも十分ではなく、放流量の 10 分の 1 程度であった。

実験 D は、嫌気槽から好気槽、沈殿槽から消毒槽へエアリフト移送し、同時に嫌気槽へ還流させた。

実験条件を変更したときには、水質を十分安定させるため、少なくとも 2 週間は馴致運転を行った。実験は原則として 24 時間調査で、できるだけ土、日曜は避け原則として晴天の平日に行った。非定常性を考慮し、1 時間間隔で測定、サンプリングを行った。測定項目は、流入・流出量、pH、ORP (酸化還元電位)、DO および温度であり、分析項目は TOC、T-N、NH₄-N、PO₄-P、および濁度などである。水質分析は、サンプリングした後できるだけ 1 時間以内に行っ

た。止むを得ない場合は冷凍保存した。

4. 実験結果および考察

図 6 は、ある 1 日の 1 時間あたりの流出量と積算流出量の時間変化を示したものである。実験 A はすべてオーバーフロー方式で移流し、流入量と流出量は同じであるため、流出量を測定した。水の使用は、夕方と朝に集中している。この日の水の使用量は約 1 トンであった。実験 B は、沈殿槽から消毒槽へエアリフト移流した場合である。夕方 17 時ころの急激な流入に対して、流出が緩和されていることがわかる。また、朝 7 時を流量 0 l として翌朝 7 時を最終としたものであるが、流入が 1150 l であるのに対して、流出は 971 l であった。すなわち、約 180 l が装置内に滞留していることになる。また、朝方の流入、流出の状況を見ると流入より流出の方が多い。このような例は他の時間帯にも観察される。実際、この方法では 1 日中、流入のあるなしにかかわらず放流が観察された (図中、灰色の棒)。実験 C は、実験 B に対して嫌気槽への還流を試みたものであるが、雨のため流出水量を測定することはできなかった。実験 D は、嫌気槽から好気槽、沈殿槽から消毒槽へエアリフト移流させ、同時に嫌気槽へ還流させたものである。流出パターンは一層改善され、ほぼ直線に近い形となった。これは、還流量が 190 l/h とかなり大きかったためである。放流量は約 60 l/h であるから、約 3 倍の還流量であった。このように、エアリフト移流させることにより、非定常流入に対して連続流出のパターンを得ることが可能である。なお、この日は夏で使用水量が多くほとんど 1 日中水道水が何らかの形で利用され、使用量も 1500 l に達していた。

図 7 は DO の時間変化である。実験 A は、好気槽では 5 mg/l 以上を保っている。嫌気槽では、表面近辺は 0.8~3.5 mg/l で嫌気状態にはなっていない。嫌気槽下部は 0~0.9 mg/l 付近で、ここも嫌気状態ではなく、微好気状態であった。特に流入があるときには DO は上昇し、0 mg/l にはなりにくいようである。実験 B で、好気槽の DO が夜中に高くなっているのは、

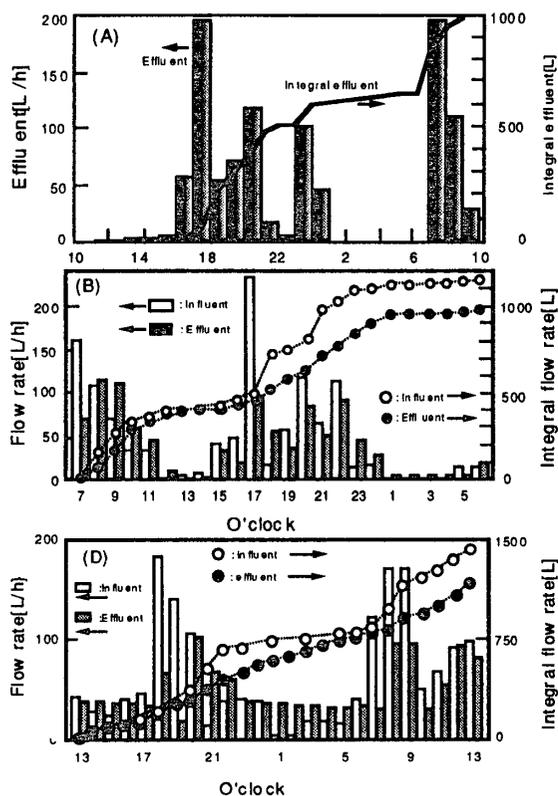


図 6 流出・流入量の時間変化

流入がなくてもエアリフトにより放流されており、好気槽の水量が少なくなっているためである。好気槽の水量が少なく、嫌気槽に急激に雑排水が流入したときには嫌気槽のDOは上昇し、同時に好気槽のDOも急激に上昇する。朝方の現象がこれである。実験Cでは好気槽のDOが4~8 mg/lの間で変動しているが、実験Bほどではない。流入・流出パターンがはっきりしないが、還流により若干緩和されている可能性がある。実験Dでは、好気槽の変動が一番小さく、さらに嫌気槽のDOが殆ど0に近いまま

であるのが、他の実験と異なるところである。嫌気槽から絶えず好気槽に移流すると同時に、嫌気槽にも絶えず処理水が還流しているためと考えられる。連続処理に近い図形となっているといえる。

図8は、ORPの時間変化を見たものである。実験Aでは、好気槽のORPは200~300 mVで推移している。硝化反応が進行するにはやや低い値である。下水処理場などで観察される値は、500 mV前後に達するものもあるが、合併処理浄化槽では何故このように低いのかはよく分からないが、おそらく微生物量が基質に比べて多かったからではないかと考えられる。嫌気槽のORPは、中層で-45~200 mVの範囲で変化した。全体としては正の電位で推移している。したがって、嫌気槽とはいえない状況にある。図には示していないが、表層では、好気層に近い電位であった。これは、装置上の問題もある。すなわち、この実験装置では、嫌気槽と好気槽の隔壁に穴を開けそこからオーバーフローさせ、しかも両槽の水位をほぼ同じにしている構造であるため、好気槽から嫌気槽へ逆流する現象がしばしば観察され、このことにより表層の電位が高くなったものと思われる。し尿槽では、-70~38 mVで安定した電位で推移している。嫌気沈殿槽の役割を果たしているものと考えられる。実験Bは、実験Aと比較すると、好気層についてはあまり変化はないが、嫌気層についてはORPは-92~32 mVの間で変化しているものの、一点を除いて全て還元側に傾き、明らかに異なる結果となった。これは、先に述べたようにオーバーフロー方式で行う場合には構造上の問題があることを示している。しかし、一方でエアリフト方式ではこのような簡単な構造でもよいことを示している。実験Cでは、嫌気槽に還流させているため、実験Bに比べて若干ORPが高くなっているものの、ほぼ0 mVで推移した。実験Dでは、還流量が多いため、急激な流入があった後ではORPは上昇した。しかし、その他の場合には実験Cと同じ程度であった。

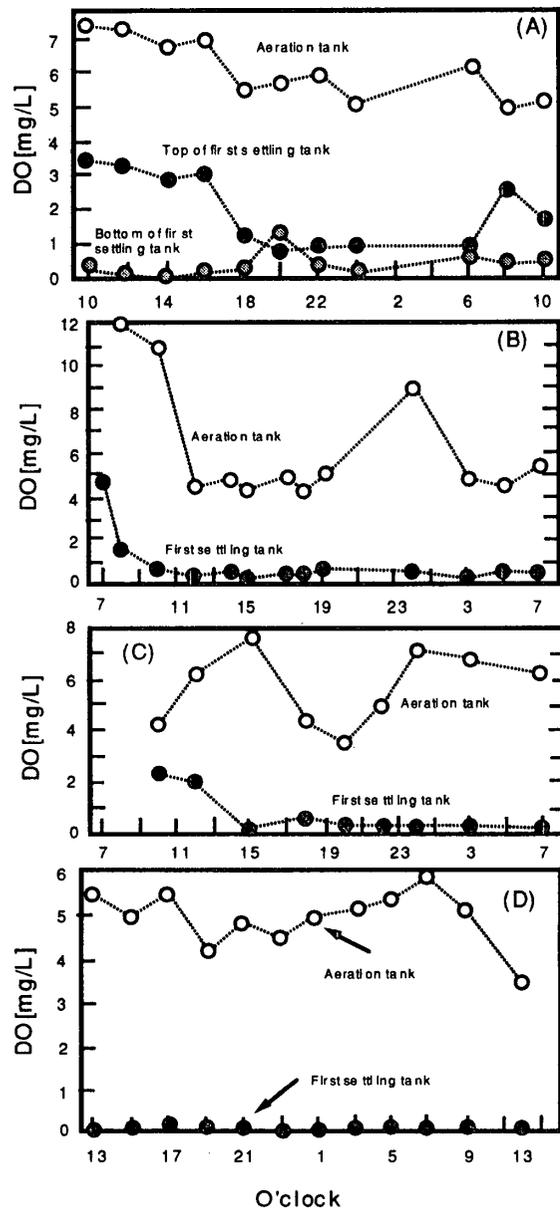


図7 DOの時間変化

しており妥当なものであった。嫌気槽は、6.7～7.1で好気槽と同様の傾向であったが、やや高い値を示した。これは、有機物分解に伴うアンモニアの生成によるものであろう。し尿槽は、前二者よりもやや低く、酸発酵が進行していることを推測させる。実験Bは、pHを測定していない。実験Cでは、好気槽ではややアルカリ側、嫌気槽ではやや酸性側の傾向を示した。これは、エアリフトで常時放流しているため、好気槽の有効容積が減少しこのことが硝化反応を抑制しているものと考えられる。実験Dでは、還流量が多いことと、実験Cと同じ理由から、好気槽のpHは高く、さらに嫌気槽のpHも上昇した。好気槽の容量が不十分である可能性が高い。

図10は、TOCとBOD及びCODとの関係で

ある。有機物濃度の測定は全てTOCで行ったため、換算式から求めたものである。それぞれ次のとおりである。

$$\text{BOD}_5 = 1.65\text{TOC} - 23.96 \quad (1)$$

$$\text{COD} = 0.555\text{TOC} + 8 \quad (2)$$

図11は、嫌気槽、放流水のTOC、濁度の時間変化を見たものである。実験Aでは、濁度(嫌気槽; 28～126 mg/l、処理水; 11～52 mg/lの間で変化)、TOC(嫌気槽; 12～64 mg/l、処理水; 10～52 mg/lの間で変化)とも、急激な流入直後に嫌気槽で高くなり、処理水ではしばらく遅れて高くなった。濁度に関しては、一部を除いて嫌気槽の方が高く妥当な値であったが、TOCに関しては、流入がないとき処理水の方が高い結果となった。これは、嫌気槽では流入が

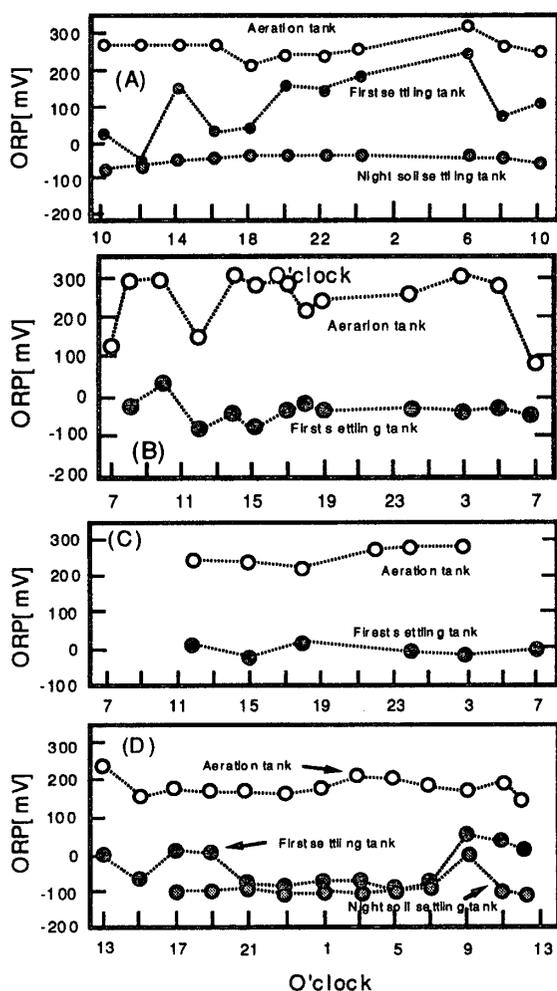


図8 酸化還元電位の時間変化

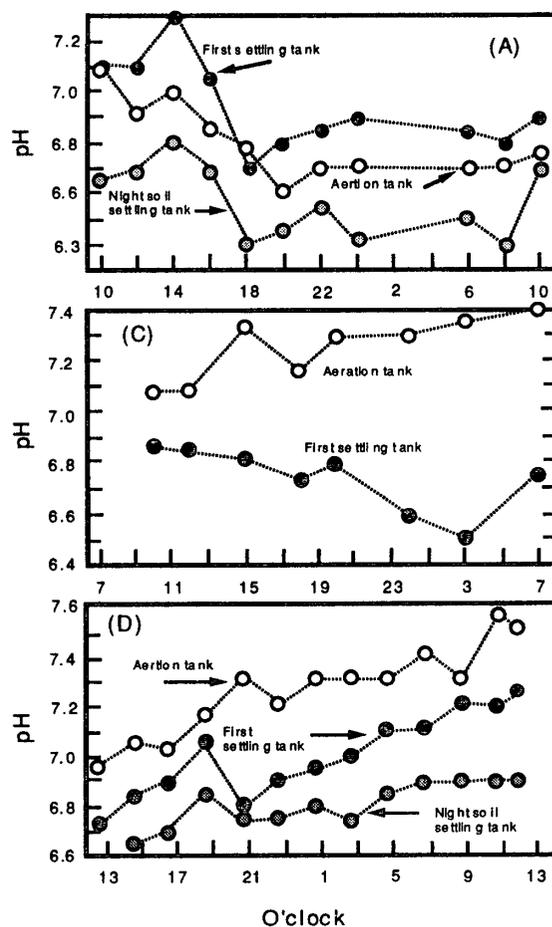


図9 pHの時間変化

ないときは、液が攪拌されないため汚泥が沈殿したのに対し、好気槽では曝気攪拌が行われていることによるものである。実験Bを行った日は、大きな変動がなかった。濁度（嫌気槽；56~118 mg/l、処理水；2.5~35 mg/lの間で変化）、TOC（嫌気槽；88~110mg/l、処理水；10~16 mg/lの間で変化）ともよく除去され、しかも安定した水質であった。この傾向は、実験Cでも、濁度（嫌気槽；76~187mg/l、処理水；10~27 mg/lの間で変化）、TOC（嫌気槽；76~127 mg/l、処理水；14~22 mg/lの間で変化）とも実験Bと同様に安定した結果を得ている。実験Dでは、濁度（嫌気槽；17~43 mg/l、処理水；1.0~10 mg/lの間で変化）、TOC（嫌気槽；30~50 mg/l、処理水；18~27 mg/lの間で変化）と、一層安定した。実験Dは、非定常流入、定常流出に近い形を実現しているため安定したものと考えられる。ただし、除去率は期待したほどのものを得ることはできなかった。

式 (1)、(2) によると、BODが20 mg/lを期待した場合、TOCは、20.6 mg/lであり、このときのCODは19.1 mg/lとなり、この種の排水では限界に近いものと思われる。

図12は、TOC、CODの1日の排出量を各実験で比較したものである。最も安定した水質を得た実験Dは、従来のオーバーフローの方法と大差ないか、やや悪い結果となった。原単位で

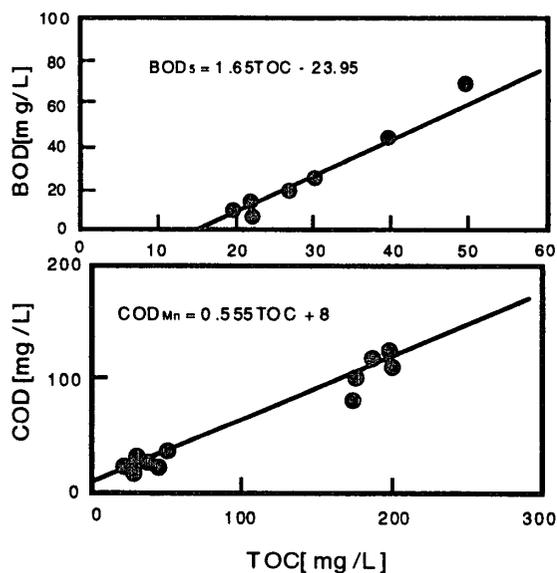


図10 TOC VS. BOD, COD

は、実験Bが最も優れた結果となった。このことは、一日中安定した処理水を得ることのみに囚われても原単位で比較した場合には、環境に対してよくない場合があることを示すものである。しかし一方で、この実験装置は必ずしも十分なものとはなっていないので、改良することにより、実験Dのような方法でもっと良い結果が得られるかもしれない。

図13は、嫌気槽、好気槽中のT-Nと放流水中のNH₄-Nの濃度の時間変化を示したものである。但し、実験DにおいてはいずれもNH₄-Nである。実験Aでは嫌気槽中のT-Nの濃度が低いためあって、放流水中のNH₄-N濃度はほとんど

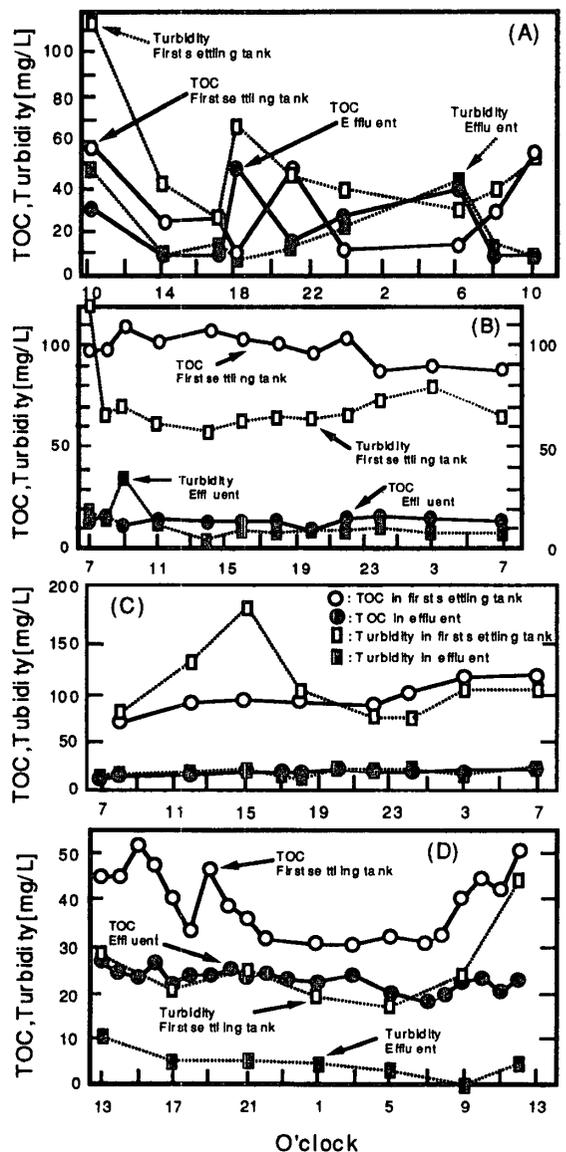


図11 TOCおよび濁度の時間変化

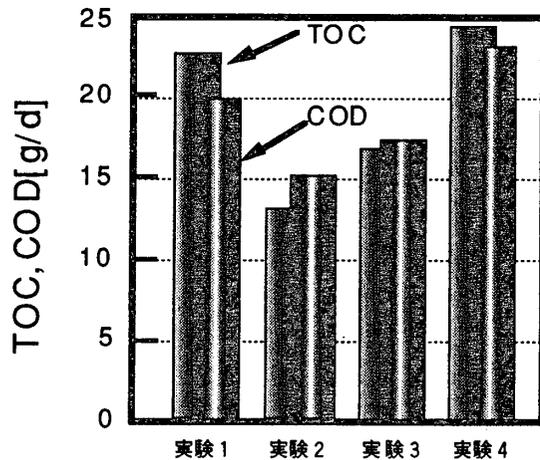


図12 TOC, CODの原単位の比較

どひと桁であった。しかし、流入水量の変動により濃度はかなり大きく変化している。T-Nは、嫌気槽と放流水であまり変化せず、窒素は除去されていない。実験Bでは、嫌気槽中のT-N濃度は実験Aに対して倍近くあったが、放流水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度はほぼひと桁で硝化反応は良く進行した。放流水中の濃度は安定して推移した。T-Nは、約40%程度除去された。どの部分で除去されたのかは不明である。おそらく汚泥増殖に使われたものと思われる。実験Cでは、放流水中の濃度は10mg/l程度で推移した。T-Nは、実験Aと同程度であった。嫌気槽への返流により脱窒を期待したが、返流量が少なかったこともあり、十分な結果を得ることができなかった。実験Aから実験Cは冬期に行われ、水温はいずれも15℃前後で行われているため、硝化反応が抑制されている状況にあった。実験Dでは、T-Nを測定していない。かなりの量を返流させ、同時に嫌気槽から常時エアリフトで好気槽へ移流させたため、好気槽での有機物分解が進行し、硝化反応が追い付かなかったためと考えられる。実験Dは夏期で水温は十分に高かったにもかかわらずこのような結果になったのは、負荷がかかりすぎたためと考えられる。実験Bで良好な結果を得ることができたのは、滞留時間が平均し、負荷がかからなかったためと思われる。実験Cは、実験Bと実験Dの中間の状態と考えられる。

図14は、溶解性リン($\text{PO}_4\text{-P}$)の時間変化である。本来なら全リン(T-P)で測定すべきとこ

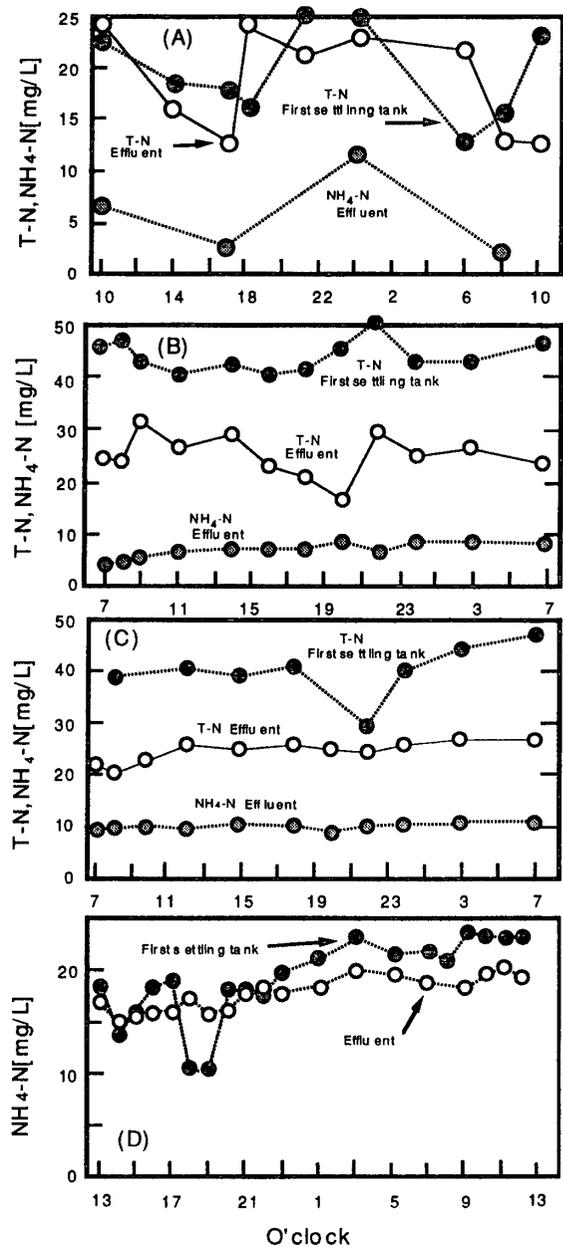


図13 T-Nおよび $\text{NH}_4\text{-N}$ の時間変化

ろであるが、SS状態でのものを多く含む場合とそうでない場合とで大きく異なるため、ここでは $\text{PO}_4\text{-P}$ を測定したものである。リンがこのような方法で除去されることはないが、どのような挙動を示すかを知るために敢えて記述することとした。どの場合も嫌気槽と好気槽での $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度にはあまり変化がなく傾向も同じようであった。好気槽における濃度が少し低くなっているが、これは汚泥増殖に利用されているためと考えられる。当然のことではあるが、

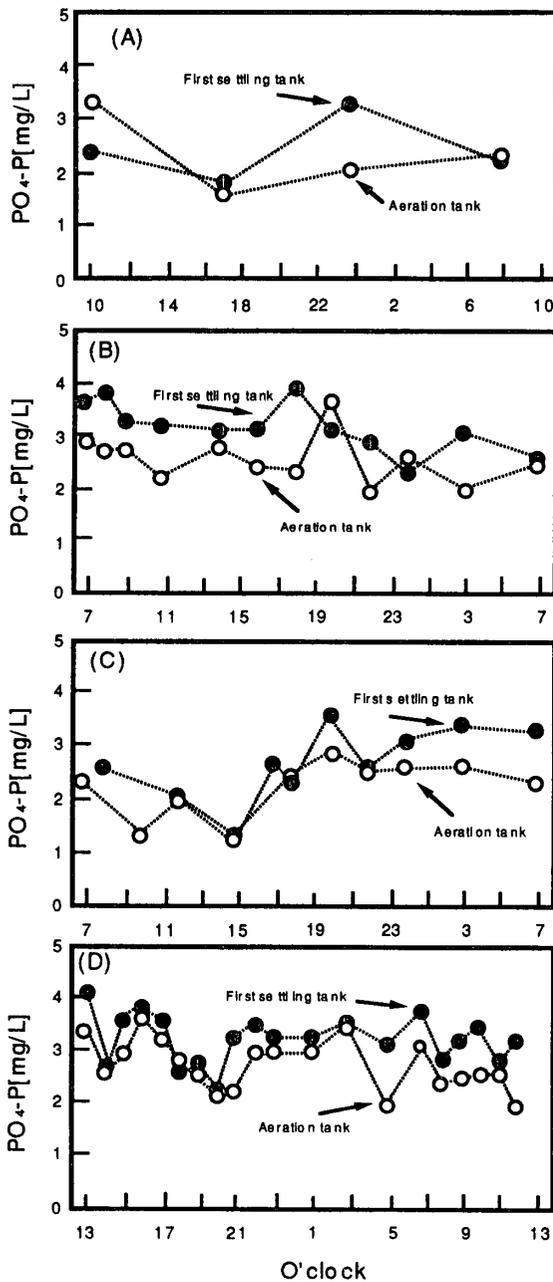


図 14 PO_4-P の時間変化

脱リンの機能を持たせるためには他の方法が考えられなければならない。

4.3 処理水の利用

図 15 は、小型合併処理浄化槽を設置して実験を行った一般家庭の屋敷の平面図である。緒言で述べたとおり、水処理と水利用という観点で新しい発想での小型合併処理装置の開発を試みた。汚染はできうる限り発生源で処理される

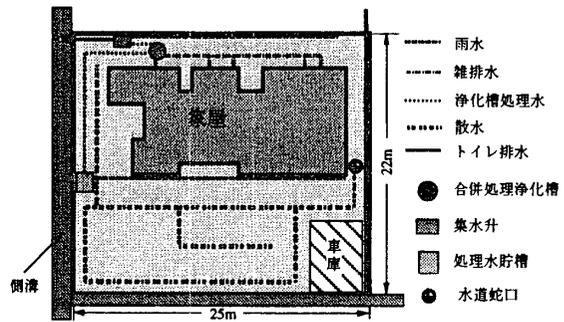


図 15 廃水処理と処理水の利用

ことが好ましいと考える。そのためには、一般家庭において上水でも下水でもない中水の利用を考えていく必要があると考える。この家庭では、実験で得た成果として上水の節約があった。風呂水の洗濯水としての利用、処理水の一部を庭の遣り水として利用することなどである。さらに一步進めてトイレ用水としての再利用あるいは洗車の前洗いとしての利用など、本来上水でなくてもよいところへの利用が行われることが期待される。渇水期には恐らく相当量の節水となるであろう。

5. まとめ

本研究では、小型合併処理浄化槽において安定した水質を得るために、いかなる技術開発が必要であるかと言う点に着目し、特に流量調整の有無による流量変動と処理水質の検討、さらに循環機能を付加することによる安定性について考察したものである。

また、本装置の最大の特徴は、し尿沈殿槽を従来の第一沈殿槽の変わりに設けたことである。比較できなかったが、少なくとも高濃度の汚泥の沈殿による滞留時間の確保分、とりわけトイレトーパーの処理に対しては有効であると考えている。本研究で得られた主な結果は次のとおりである。

- (1) オーバーフローによる方法は、急激な流入時には処理水質が非常に悪化した。しかし、流入がない夜中などは滞留時間が十分なのでむしろ水質は向上した。
- (2) 流量調整機能を持ったプロセスは、流出が緩和されれば一定に流出させることが可

能であった。流量調整の方法によっては水質を向上させることも十分可能である。

- (3) 嫌気槽に還流させることにより、窒素除去が可能である。嫌気槽の状態は必ずしも嫌氣的雰囲気ではないが、脱窒反応を進行させるためには十分であった。

なお、この実験装置は、装置的に不十分な点が多々あったので改良が求められるのは当然である。

参考文献

- 1) 粕谷、山本：合併処理浄化槽設置整備の推進について、京都大学環境衛生工学研究会第12回シンポジウム講演論文集、p.221-224 (1990)
- 2) 湯沢、新井、関：小型合併処理浄化槽における無酸素好気回分操作による窒素除去、第31回環境工学フォーラム講演集、pp.22-24 (1994)
- 3) 高井、平田、稲森等：循環式小型合併処理浄化槽における嫌気好気容積比及び循環による持ち込みの処理特性に及ぼす影響、第28回日本水環境学会年会講演集 pp.260-261, (1994)
- 4) 竹田、桜井、松本：間欠ばっ気およびばっ気時間制御運転による合併処理浄化槽の窒素除去、第28回日本水環境学会年会講演集、pp.262-263 (1994)
- 5) 小川、田所、高橋等：家庭用浄化槽におけるリン除去、第29回日本水環境学会年会講演集、p.401 (1995)
- 6) 中西 弘：排水処理の課題と展望、都市清掃、第43巻、第174号、pp.22-26 (1990)
- 7) 城田、深川、村上等：小型合併処理浄化槽の改善に関する研究、浄化槽研究、Vol.3, No.1, pp.15-25 (1991)
- 8) 長坂、荒又、佐藤等：小型合併処理浄化槽における水量変動の処理水への影響について、第29回日本水環境学会年会講演集、p.403 (1995)

(平成7年9月25日受理)