特集

生活系排水処理技術の最近の動向

接触ばっ気法の動向

上原 義昭*

1 はじめに

今回、し尿浄化槽構造基準の改正により処理方式が抜本的に改められ、合併浄化槽に関しては従来のように活性汚泥法偏重を避け、回転円板法、接触ばっ気法、プラスチックろ材を用いた散水汙床法などの新しい処理方法が追加されたことは周知のとおりである。

従来の浄化槽は建築物の管理上発生するし尿を処分することが主目的であり、汚濁除去効果や河川の汚濁防止等には十分の効果が期待できなかった。それは活性汚泥法が主であり、これら小規模の生活系排水の特徴である水質、水量のバラツキ等に十分な対処が困難であったためである。今回の改正により負荷変動にも強く、維持管理も容易な上記3方式の生物膜法が追加されたことは大きな前進と言える。また、これら生物膜法の内、接触ばっ気法はピンフロックも少なく比較的透視度の高い処理水が得られることや建設費が比較的安価であることなど、今後最も期待できる処理方法である。しかし本法は普及後、日も浅く技術の蓄積が少なく、今後の技術開発に期待するところが大きい処理方法でもある。

今回は、この接触ばっ気法的设计にあたっての留意点、実施例、応用例などを紹介し御参考に供するものである。

2 原理

本法は、水中に没した接触材を固定あるいは浮遊させた状態で汚水を曝気し循環接触させると接触材表面に浄化微生物が増殖し生物膜が形成され汚水中の有機物が吸着・酸化される。この生物膜の模式図は図-1に示されるようなものであって、汚水との接触部分は好

気性であるが、接触材表面付近は嫌気性層となる。嫌気性層では嫌気性代謝の最終生成物である有機酸等が生成されるが、好気性部分で酸化、安定化される。しかし、酸素の供給が不足すると好気性部分での有機酸等の分解が行なわれなくなり生物膜の脱落をまねく。しかし実際には、少量の生物膜は絶えず剥離し世代交代が行なわれるため、日常の運転は負荷を均等化し酸素の供給が不足しないよう操作し処理効果を安定化しなければならない。なお接触ばっ気法は接触材に生物が固着されるため活性汚泥法に比べ増殖速度の遅い微生物も増殖できるので、食物連鎖が長くなり活性汚泥法より余剰汚泥生成量が減少する。

図-1 生物膜模式図

3 装置の設計

接触ばっ気法は、接触材を固定する固定床方式と接触材を浮遊させる浮遊床（流動床）方式とに大別されるが、生活系の排水処理においては、前者による接触ばっ気装置が一般的であるのでここでは、固定床方式を主体として設計に必要な事項、留意点等を述べる。

* 所沢市下水道部維持課長 Yoshiaki UEHARA

本法による処理施設設計においては、槽の形状・BOD容積負荷・段数・接触材・充てん率・ばっ気方法・空気量・余剰汚泥生成量・逆洗などが設計の要因となるが、他の処理方法と同様前処理装置としてスクリーン、流量調整槽等の組み合わせを適確に選択することの重要性は言うまでもない。また処理しやすい下水に変えた後の接触ばっ気施設の設計にあたって最も考慮しなければならないことの一つに、いかに流入した汚水を接触材と均等に接触・攪拌するかということがある。接触材と汚水の接触は物理的に容易のように思えるが、用いる接触材の種類、構造により画一的な技術のわくのあてはめは現状では困難であり、各メーカーのノウハウがある所以となっている。

3.1 槽の形状

接触ばっ気法の処理機能上、汚水が接触材とスムーズに接触することは重要な因子であり、槽内で汚水が短絡することのない槽の形状が必要となる。一般に旋回流は槽の幅と水深の比に関係するため槽の幅を水深に比べあまり大きくすると旋回流が不均等になるので側面ばっ気の場合図-2に示すようにタンクの幅は水深の1～2倍程度にするのが良い。

3.2 BOD容積負荷

接触ばっ気法は生物膜法的一种であり、浄化作用は接触材表面に付着する生物膜の量(面積)により決定されると考えられたが、接触材表面積を増しても除去率が増加しない例もあった¹⁾。

現在、接触材の種類は多種におよび複雑な面形状から有効表面積を算出することが困難な例も多く、仮に有効表面積を算出しても充てん方法等により実施設における有効面積を求めることは疑問が残ることから、設計に際してはBOD容積負荷を設計の基準に用いることが合理的と考えられている。なお接触ばっ気法においては、接触材の閉塞が維持管理上の問題になるが

閉塞に関してはBOD容積負荷が要因と考えられているので、BOD容積負荷を用いることは維持管理上の指標としての意味からも評価できると思われる。

BOD容積負荷は対象水質と目標水質より決定されるが、生活系排水を対象とし処理水質BOD 20ppm以下を目標とした場合し尿浄化槽構造基準では $0.3\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ を用いれば良いとしている。

3.3 段数(槽の区分)

二次処理には、槽を2槽以上に区分するが、槽を区分する理由は、短絡の防止と処理水質の安定性の確保のためである。また各槽の容量を同一にすると、第1槽の容積負荷が増大するため接触材の閉塞、逆洗ひん度の増加等、維持管理上の支障が生じる。したがって第1槽の容量を大きくし各槽の負荷を均等化する工夫をしなければならない。

3.4 接 触 材

接触ばっ気法に用いる接触材の基本的条件は、

- ① 流入水と接触して材質、形状に変化を生じないこと。
- ② 個々の接触材およびそれを充てんした接触ばっ気槽のいずれも、汚泥蓄積による荷重あるいは水流により変形、破損を生じない強度を有すること。
- ③ 生物性汚泥が固着生成し得ること。
- ④ 比表面積および空隙率ができるだけ高いこと。
- ⑤ 有害物質の溶出がなく、化学的、生物学的にも安定していること。

などが満足されていることである²⁾。

接触材の形状もチューブ状、ひも状、網状、小型筒状、平板状、立体網状など各種あるが、いずれも空隙率95%前後を有している例が多い。また性能的にみるとSSの捕捉性の高い接触材と規則的な面をもつSSの捕捉性の低い接触材とに分けられる。

現在までに研究開発されてきた接触材は多種多様におよび、個々の接触材ごとに特色があり一概に優劣の判断は難しい。また特色上の選択は大切なことであるが処理性能はあくまでも用いる接触材の充てん方法、ばっ気方法などの組み合わせにより決まることを忘れてはならない。

3.5 充てん率

接触ばっ気槽の容量を決定するのはBOD容積負荷であるが、汚水の浄化は槽内の接触材上の生物量により律速されるため、接触材の充てん率がBOD容積負荷を決定する前提になっている。

一般に充てん率が低いと短絡を生じ効果的な処理は

$$H : L = 1 : 1 \sim 2$$

図-2 槽の形状

望めなくなる。一方、充てん率を高めると、ばっ気により生じる旋回流と接触材の接触が確保されるが、過度の充てんは接触ばっ気槽内の点検、補修時の障害となるので注意を要す。

以上のことを配慮すると、接触材の充てん率は40～70%程度が望ましいといえる。なお、接触ばっ気槽の底面と接触材底部との間隔が短いと循環が悪くなるため500mm程度の間隔はあけるようにする。

3.6 ばっ気方法

ばっ気の目的は接触材に付着した生物に酸素の供給を行なう他に、ばっ気の結果発生する旋回流により汚水を拡散、接触材と均等に接触させることである。ばっ気方法は図-3に示すように側面のばっ気により旋回流を生じさせる側面ばっ気、槽の中心をばっ気する中心ばっ気、全面ばっ気、エアリフトポンプばっ気、ポンプや機械攪拌装置を使用する機械ばっ気式が一般に普及している。なお、固定床式の接触ばっ気法には槽外ばっ気方式をほとんど採用していないが、流動床法式の場合は主に槽外ばっ気方式を採用している。

3.7 空気量

接触ばっ気法における空気量は2つの意味がある。第1点は単位BOD除去あたりに必要とされる酸素量(必要酸素量)、第2点は接触ばっ気法の機能上必要とされる旋回流の発生動力源としての空気である。接触ばっ気法は接触材が旋回流の抵抗になるため、活性汚泥法に比較し、必要酸素量を上回る多量の空気量が必要とされる。

接触ばっ気槽内を均等攪拌するに要する空気量は各

施設により異なり定常的な数値は定められない。しかしながら、過去の実験や筆者らの経験から日平均汚水量の約24倍前後の空気量を確保できれば問題ないと思われる。なお、ここで必要とする空気量は接触ばっ気槽全体に対しての量であり、実際には各接触ばっ気槽容量および負荷化率を考慮して空気量を分割する必要がある。

3.8 余剰汚泥生成量

活性汚泥法においては、比増殖速度の小さい輪虫等の大型生物はあまり出現しないが、接触ばっ気法を含む生物膜法はwash outが非常に小さいため、輪虫やミミズ等の大型生物の増殖が可能になる。このため生物膜法では食物連鎖体系が形成されるため、活性汚泥法に比べ余剰汚泥の生成量が少なくなる。

余剰汚泥生成量も算出方法の違いや、接触材のSSに対する捕捉性能等により異なるが、都市下水を対象とし接触ばっ気槽の滞留時間10時間・BOD容積負荷 $0.47 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ の条件で除去BODあたり38%の汚泥生成量であった³⁾。

3.9 逆洗

多槽形の接触ばっ気槽の場合、第1槽に高い負荷をかけているため生物膜が肥厚し接触材の閉塞を起こすこともある。したがって比較的高負荷の第1槽には逆洗設備を設け適時逆洗を行ない生物の体謝機能を高く維持することが望ましい。また、必要により後続の第2、第3槽にも同様に逆洗設備を設ける場合もある。

通常、逆洗は接触材の下に逆洗用の散気管を設置し接触ばっ気槽のばっ気を停止したのち行ない逆洗汚泥

図-3 ばっ気方式³⁾

を上部より回収(移送)する。

4. 設計実施例

本法を採用した設計事例として、ひも状及び小型筒状接触材を用いた場合の設計実施例及び処理成績の一例と、波板状接触材を用いた場合の設計実施例を次に示す。なおこれら2例はいずれも共同住宅の合併し尿浄化槽の設計例である。

4.1 ひも状及び小型筒状接触材を用いた実施例

- 1) 処理方式：接触ばっ気法
- 2) 処理対象人員：475人(日平均汚水量 142.5m³)
計画汚水量

用 途	原 単 位 (ℓ/人・日)	人 員 (人)	汚 水 量 (m ³ /日)
共同住宅	3LDK	300	225
	4LDK	300	250
計		475	142.5

	m ³ /日	m ³ /時	m ³ /分
日平均汚水量(Q)	142.5	5.94	0.009
流入時間最大汚水量 (Q×流入時間 ×ピーク係数)	(534.4)	22.3	0.37
時間最大汚水量 (Q×ピーク係数)	(356.25)	14.85	0.25

- 3) 流入水水質：BOD 200ppm
- 4) 処理水水質：BOD 日間平均20ppm以下(除去率 90%)
- 5) 処理工程：図-4のフローシート参照

6) 各単位装置の概要

- a. スクリーン：告示第6号第1号の(1)に定める構造とする。
- b. 原水ポンプ槽：有効容量は流入時間最大汚水量の10分間分に相当する容量以上とする。
- c. 流量調整タンク：告示第6号第1号の(2)に定める構造とし、有効容量を日平均汚水量の9時間分に相当する容量以上とする。
- d. 計量装置：流量調整タンクから接触ばっ気槽への時間当りの移流量が日平均汚水量の24分の1の1倍(以下「移流計画汚水量」という。)
- e. 自動微細目スクリーン：目幅の有効間隔2mmとし残渣を自動除去し残渣箱へ取出すものとする。
- f. 接触ばっ気槽：有効容量は移流計画汚水量の24時間分に相当する容量以上としBOD容積負荷を0.2kg/m³・日以下とする。また送気量は流入平均汚水量に対して24倍とする。

(第1接触ばっ気槽)

有効容量：74.6m³，BOD容積負荷 0.8 kg/m³・日

接 触 材：ひも状接触材(RL)，総容積 46.6m³，充てん率60%以上，接触材投入 18,640m，BOD接触材負荷 3.0 g/m²・日

(第2接触ばっ気槽)

有効容量：37.1m³

接 触 材：小型筒状接触材(RY2型)，総容積 27.1m³，充てん率70%以上

(第3接触ばっ気槽)

図-4 設計実施例(1)のフローシート

表1 設計実施例(1)の処理成績

	pH	透視度 (cm)	BOD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)
原 水	6.8	6.0	170	84
処 理 水	6.5	1 m以上	5.6	N D

- 有効容量：34.5m³
接 触 材：小型筒状接触材(RYI型)，総容積25.2m³，充てん率70%以上
- g. 沈 殿 地：有効容量は日平均汚水量の3時間分に相当する容量以上とし，水面積負荷12 m³/m²・日以下，越流負荷45m³/m²・日以下とする。
- h. 汚泥貯留槽：告示第6号第1号の(6)に定める構造とする。
- i. 放流ポンプ槽：有効容量は日平均汚水量の15時間分に相当する容量以上とする。
- j. 汚泥貯留槽：告示第6号第1号の(6)に定める構造とする。

以上の設計諸元に基づいた排水処理施設における処理成績の一例を表1に示した。

4.2 波板状接触材を用いた実施例

- 1) 処 理 方 式：接触ばっ気法
2) 処理対象人員：405人（日平均汚水量115m³）
3) 流入水水質：BOD 200ppm
4) 処理水水質：BOD 60ppm

計画汚水量

用 途	原 単 位 (ℓ/人・日)	人 員 (人)	汚 水 量 (m ³ /日)
共同住宅	300	376	112.8
店舗	客	3	17.1×10回転
	従業員	100	1.1
計			÷ 115

図-5 設計実施例(2)のフローシート

	m ³ /日	m ³ /時	m ³ /分
日平均汚水量 (Q)	115	4.79	0.0798
時汚水 最大 量	(287.5)	11.97	0.199

- 5) 処 理 工 程：図-5のフローシート参照
- 6) 各单位装置の概要
- a. 沈 砂 池：時間最大汚水量に対し30秒以上とする。
- b. 調 整 槽：日平均汚水量の1/6に相当する容量以上。
- c. 接触ばっ気槽：ばっ気槽容量は，日平均汚水量及び BOD 容積負荷の双方から算出しその大きい方の値をとる。また，送気量は日平均汚水量の36倍とする。
- (第1接触ばっ気槽) 有効容量：60m³
(第2接触ばっ気槽) 有効容量：50m³
- 接 触 材：波板状接材(F モジュール)，総容積 56.7m³，充てん率52%，実表面積 5,017 m²，BOD 容積負荷 0.21kg/m³・日
- d. 沈 殿 池：有効容量は日平均汚水量の4時間分に相当する容量以上とし，水面積負荷20 m³/m²・日，越流負荷 30m³/m²・日以下とする。
- e. 消 毒 槽：日平均汚水量に対し15分以上とする。
- f. 余剰汚泥貯留槽：除去 BOD の40%を汚泥発生率とし，貯留日数を15日分とする。

5. 接触ばっ気法の応用例

5.1 単独し尿浄化槽との合併処理

所沢市内の一住宅において，単独し尿浄化槽の処理

表2 接触ばっ気法浄化槽の処理成績

	流入水	処理水
pH	7.1	6.8
透視度 cm	2	40
BOD mg/ℓ	130	26
COD "	370	13
SS "	240	9

水と雑排水とを併せて、本方式により処理した事例を紹介する。

実施した家庭の実使用人数は、大人2名、小人2名である。本方式を組み入れた処理フローを図-6に示すとともに、接触ばっ気槽の構造とその仕様を図-7に示した。また、この浄化槽の計画BOD容積負荷は0.17 kg/m³・日、接触材はハニカム型のプラスチック汙材を充てんし計画接触材BOD容積負荷を0.3kg/m³・日、充てん率約67%で接触時間12時間、ばっ気量25ℓ/分で設計している。参考に、運転開始から5ヶ月経過したときの処理成績の一例を表2に示したが、ある程度水質は安定していると考えられ、本方式の応用例としては成功していると言える。

5.2 球場排水浄化槽の調整槽への応用例^{1) 5) 6)}

排水処理において考慮しなければならない一つに、

処理施設に対する負荷変動をいかに小さくするかが問題となるが、負荷変動の大きい排水処理には水量・水質の均等化を図るため調整槽の設置が必要となる。

調整槽の容量決定は、排水の特性により異なるが、し尿浄化槽における調整槽の容量は住宅公団の研究⁷⁾によれば流量均一化の面では約6時間分、濃度の平均化にはそれ以上に大きな容量が必要であるといわれている。また、事業場排水の処理には24時間貯留する例もある。このように調整槽は重要な役割を占めると同時に 処理施設容量全体から見ても比較的大容量の施設となっている。

筆者は、この調整槽を単に水量・水質の均等化を図るだけでなくその機能を残したまま何らかの方法で汚水の浄化を図り、後続の処理施設の負荷軽減が図れないかと考えた結果、負荷変動に比較的強いといわれている生物膜法の利用に至った。そこで、調整槽にプラスチック汙材を組み込み、高水位時には接触ばっ気方式、低水位時には散水汙床方式が行なえるような方式を負荷変動が大きく水質管理の難しいと予想された所沢球場の排水処理施設の調整槽に対し設置指導した結果、かなり良好な成果が得られたので接触ばっ気方式の応用例として紹介する。

球場は、シーズン中心月10日前後の試合が開催されるが試合開始後、3～4時間以内に一日の排水量の約90%前後の汚水が処理施設に流入する。また非開催時あるいはシーズンオフには、従業員約70人程度の汚水

図-6 単独し尿浄化槽との合併処理フロー

図-7 接触ばっ気式合併浄化槽

表3 施設の仕様

計画処理水量	340 m ³ /日
計画流入水質	BOD 200 ppm SS 250 ppm
自動スクリーン	目 幅 2 mm
流量計	電 磁 流 量 計
調整槽 (接触酸化槽兼用)	容 量 357 m ³
	ろ材容量 170 m ³
	ろ材面積 15,028 m ²
	散水負荷 3 m ³ /m ² ・時
	循環水量 171 m ³ /時
第1沈殿池	容 量 28.9 m ³
散水ろ床 (プラスチックろ材)	ろ材容量 85 m ³ ×2
	ろ材面積 7,514 m ² ×2
	散水負荷 3 m ³ /m ² ・時
	循環水量 75.6 m ³ /時×2
第2沈殿池	容 量 50.2 m ³
砂ろ過	ろ過能力 422 m ³ /日
脱 臭	オゾン酸化

図-8 処理施設フローシート

図-9 負荷変動と水質

表4 調整槽内ろ材運転時における処理成績（試合開催時）

項目	採水箇所	原水	調整槽出口	散水ろ床出口		砂ろ過出口 (処理水)	総除去率
				第1	第2		
pH		7.92	7.78	7.59	7.49	7.45	—
透視度	cm	2.3	13.4	19.4	24	30以上	—
SS	mg/ℓ (除去率)	329.7	23.4 (93%)	16.1 (31%)	14.9 (7%)	6.9 (54%)	97.9%
COD	mg/ℓ (除去率)	122.2	24.0 (80%)	20.9 (13%)	16.3 (22%)	13.0 (20%)	89.4%
BOD	mg/ℓ (除去率)	533.3	66.0 (88%)	39.4 (40%)	18.0 (54%)	15.3 (15%)	97.1%
BODろ材負荷	kg/m³・日	—	0.65	0.16	0.10	—	—

量となるため、排水の特性としては不連続であり、しかも負荷変動の大きい施設である。その排水処理施設のフローシートを図-8に、仕様を表3に示す。また、

球場の計画処理対象人員は、観客席、グラウンド、レストラン、事務所、宿舍、雨天練習場を含め9,663人で、処理水量は340m³/日となり、調整槽のBOD容積負荷

表 5 調整槽内ろ材運転中止時における処理成績（試合開催時）

項 目	採水箇所	原 水	調整槽出口	散 水 ろ 床 出 口		砂ろ過出口 (処理水)	総除去率
				第 1	第 2		
pH		8.25	7.41	7.17	7.50	7.32	—
透 視 度	cm	1.5	5.5	10.5	12.5	15	—
SS mg/ℓ	(除去率)	237.1	44.8 (81%)	14.5 (68%)	13.5 (7%)	9.8 (27%)	95.9 %
COD mg/ℓ	(除去率)	96.0	28.3 (70%)	26.0 (8%)	21.9 (16%)	21.4 (2%)	77.7 %
BOD mg/ℓ	(除去率)	526.1	311.8 (41%)	61.7 (80%)	50.6 (18%)	40.0 (21%)	92.3 %
BOD ろ材負荷	kg/m ³ ・日	—	—	0.63	0.12	—	—

図-10 調整槽内にろ材を入れた場合と入れない場合の比較

は 0.2kg/m³・日、接触材 BOD 負荷は 0.4kg/m³・日、散水負荷は 3 m³/m²・時、接触材は波板状を使用し、その充てん率は約48%であり後続の散水汙床については、計画 BOD 容積負荷はステージ1で 0.4kg/m³・日、ステージ2で 0.16kg/m³・日、散水負荷は両ステージとも 3 m³/m²・時となっている(散水量 75.6m³/h)。

本施設における調整槽内接触材運転中の処理成績について、シーズン中8月から9月にかけて調査した結果を図-9に示した。また調整槽内の接触材を運転した

場合としない場合の処理水質のちがいを図-10と表 4、表 5 に示したが、調整槽に接触材を入れたことによって後続の処理施設に対して大きく負荷の軽減が計れたとともに、処理水質も向上した。

5.3 給食排水処理における調整槽への応用例⁸⁾

5.2から調整槽に接触ばつ気法を組み込むことは球場等のレクリエーション施設の污水处理に有効であることが確認できたが、一般の排水処理にも効果があると考えられたので学校給食センター排水の処理施設の調整槽に応用した。

施設を設置した学校給食センターは給食数 11,000食を賄う施設で排水を回転円板法により処理している。図-11にフローシートを示したが、調整槽内には表面積 75m²/m³の接触材を37m³充填し、接触材平面に対し45 m³/hの散水を行なう他、従来の調整槽同様エア-攪拌も行なっている。装置の仕様を表 6 に示す。

表 6 施設の仕様

計画処理水量	日最大汚水量	150 m ³
スクリーン	目 幅	20 mm
油水分離槽	有効容量	8.8 m ³
自動スクリーン	目 幅	0.75 mm
調整槽	有効容量	117 m ³
	ろ材容量	37 m ³
	散水量	40m ³ /m ² ・日
回転円板(3段)	円板面積	7,000 m ²
沈殿槽	有効容量	22.1 m ³

図-11 フローシート

図-12 調整槽における BOD・COD の除去効果

本施設における調整槽内の接触材による除去効果を図-12に示したが BOD は約63%除去され、溶解性の COD も約49%除去されており、処理施設全体としても良好な処理がされている。したがって、調整槽に接触ばっ気法を組み込むことは、前述の球場排水のように日単位の負荷変動の激しい排水処理対策として有効な手段となるばかりでなく、本実施例のように後段の処理施設に対し負荷の軽減にもなるため、水質の安定・向上という効果も得られる。

6 おわりに

生活系排水の対策としてし尿浄化槽に依存する割合は依然高いが、近年公共用水域の水質保全からし尿浄化槽の性能の向上と安定化が望まれるようになってきた。このような現状のなかで今回のし尿浄化槽構造基準の改正により接触ばっ気法が採用されたことは維持管理が容易で処理が安定しているという本法の特長が高く評価された結果と言える。また、本法は装置的にも単純であり、規模の大小に関係なしに適用でき、また本法による家庭用合併浄化槽も試験的に設置され良好な成果をあげている状況から将来は家庭用にもその普及が予想され、今後最も期待できる処理方法と言える。しかし本法は実績的にもここ数年普及しはじめた技術であり現在各種の接触材の開発が盛んに行なわれている段階である。したがって、各種接触材によ

る処理特性や汚泥管理など不明確な面も数多いため、今後、実施例を更に集積し、これらの技術を確立化することが必要と思われる。

参考文献

- 1) 生物膜法研究会；第1回研究発表会講演・討議集(1979)
- 2) 監修，岩井重久；生物膜法，産業用水調査会，(1980)
- 3) 日本建築センター；尿尿浄化槽の構造基準・同解説(1980年版)
- 4) 洞沢勇；接触ばっ気方式浄化槽の構造と性能，用水と廃水 vol 23 No.1 (1981)
- 5) 上原義昭他；レクリエーション施設の汚水処理，第34回関東水道衛生協議会研究発表会要集(1979)
- 6) 上原義昭；調整槽を用いた生物膜法，浄化そう・コミプラ，5 (1981)
- 7) 日本住宅公団建築部調査研究課；汚水再利用のための高度二次処理装置の開発実験，(昭和48年度技術開発実験)
- 8) 上原義昭他；給食排水処理における調整槽の有効利用について，第18回下水道研究発表会講演集(1981)
- 9) 上原義昭；生活系排水処理ガイドブック第3部第3章3・3 (1981)