

# 多孔性コンクリートブロックと水生植物を 用いる生活排水汚濁水路浄化施設の処理特性

## 要　旨

1. 生活雑排水に汚染された都市河川の現況
2. 河川浄化の必要性と浄化施設設計
3. 浄化実験施設の概要
4. 処理成績
5. 水生植物の酸素輸送能力と有機物浄化能力
6. 今後の課題
7. まとめ

熊本大学 工学部環境システム工学科 古川憲治  
大阪大学 工学部環境工学科 藤田正憲  
大阪大学 工学部環境工学科 岩掘恵祐  
大阪大学 工学部環境工学科 池道彦



## 要 旨

生活排水で汚濁された都市河川の新しい浄化方法として「多孔性コンクリートブロックと水生植物を組み合わせた浄化法」を構築し、汚濁した都市河川を供試排水とする長期間にわたる実証試験を行った。加えて、汚濁した河川の浄化の最終仕上げと栄養塩除去を目的に使用した水生植物の根圏への酸素輸送能力と汚水浄化能力について、ボタンウキクサを供試水生植物として定量的な評価を行い、以下の結論を得た。

(1) 紐状接触材と不織布担体を用いる接触酸化槽と多孔性コンクリートブロックを充填した接触酸化槽、それに水生植物栽培槽を組み合わせた容量  $13.3\text{m}^3$  の浄化施設を竜田川流域の奈良県生駒市に建設し、TOC容積負荷量を  $10\sim150\text{g/m}^3/\text{日}$  で変化させて連続運転した。その結果、この浄化施設は、試験した負荷域内では負荷量に関係無く TOC を約 40% の効率で除去できること、洗剤による発泡を抑えるレベルにまで陰イオン界面活性剤を効率的に除去できること、水生植物の根のろ過作用が効果的に機能し SS が効果的に除去され、透視度 50 cm 以上の透明な処理水の得られること、T-N、T-P が水生植物によって摂取除去されることが実証試験で明らかになった。また、クレソンをこの浄化施設で通年栽培できたこと、多孔性コンクリートブロック槽の上部に設けた砂利槽でゼラニュームを水耕栽培できたことから、花と水生植物の縁で浄化装置を年間を通じて装飾でき、住民にアピールできる浄化施設にすることができた。

(2) 波板接触材を用いる接触酸化槽と多孔性コンクリートブロック槽、それに活性コークスを底部に充填した水生植物栽培槽を組み合わせた容量  $26.4\text{m}^3$  の浄化施設を竜田川流域の奈良県平群町に建設し、TOC 容積負荷量を  $50\sim130\text{g/m}^3/\text{日}$  で変化させて連続運転した。その結果、TOC を試験した負荷範囲内では約 40% の効率で除去できること、陰イオン界面活性剤と SS が効率的に除去されることを認めた。T-N、T-P については、水生植物の栽培槽の面積が律速となってあまり除去できなかった。

(3) ボタンウキクサは光の当たった条件で、気孔から取り込んだ酸素を根部に送る能力の備わっていることを実験的に証明した。曝気を行わない条件でボタンウキクサのみによる合成下水の浄化試験を行い、ボタンウキクサの根圏への酸素供給と根圏微生物の働きで、合成下水の TOC が効果的に除去されることを認めた。

## 1. 生活雑排水に汚染された都市河川の現況

現在わが国の下水道普及率は41%にまで高まったが、下水道未整備地域では生活に伴って発生する排水（生活排水）のうち、し尿の多くは単独浄化槽や汲み取りで処分されているものの、生活排水の汚濁負荷量の2／3を占めるし尿以外の生活雑排水の大部分は全く未処理のまま河川に放流されている。河川には本来排水を希釈・浄化する能力が備わっているが、河川の水源となる森林では、広葉樹林がスギ、ヒノキなどに植え変えられたことによって保水能力が低下する一方、下流の都市域では都市化の進展によって地表がコンクリートやアスファルトによって覆われ、地中に雨水が浸透しなくなり、加えて河川改修で雨水排除管と化してしまった河川が多くなっている。特に、大都市近郊の中小河川は、雨天時以外は河川水の7～8割が生活排水で占められるようになってしまったことから、その汚濁防止対策が大きな社会問題となっている。

図1・1には、奈良県、大阪府を流域とする大和川の支流の一つで生活排水による汚濁が著しい竜田川の水質、水量変動の一例を示した。図1・1から、河川の水質が見事に生活サイクルと重ね合わされていることがわかる。即ち、朝方のトイレ、台所排水、洗濯排水が原因となる第一のピーク、それに夕方の台所、風呂の排水が原因となる第二のピークがはっきりと河川の水質と水量に反映されている。流量の変動パターンとBODの濃度変動パターンがほぼ一致していることから、竜田川の河川水の大半が生活排水で占められていることが明らかである。写真1・1には竜田川の河床の状況を示したが、BOD濃度の高い、微妙気域に好んで生育する水わた（*Beggiatoa. sp.*）が河床で優占していることがわかる。写真1・2には、竜田川の段差のみられる場所での洗剤による発泡の様子を示した。少しの段差でも発泡し、しかもその泡が下流10m以上にわたって尾を引き、外見上実体以上に汚染が進行しているように感じられる。

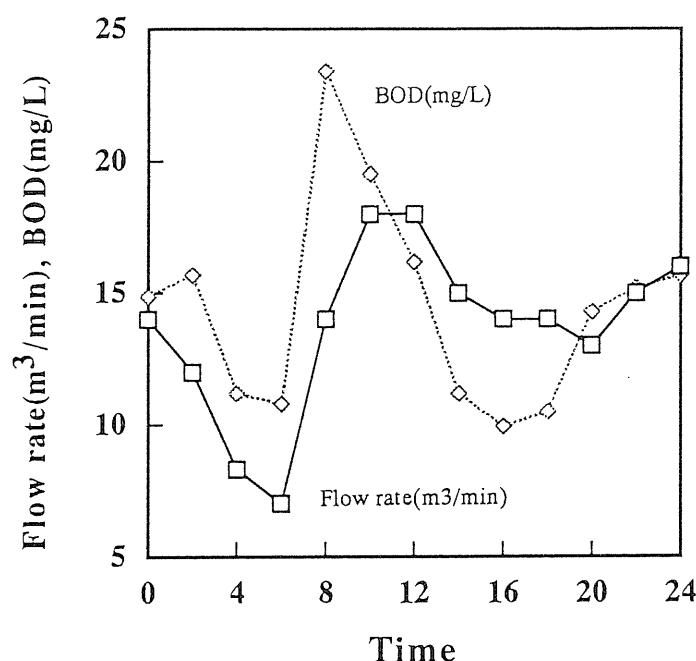


図1・1 竜田川における流量とBOD濃度の日変動<sup>1)</sup>



写真1・1 竜田川の河床における水わたの付着状況



写真1・2 竜田川における洗剤による発泡状況

## 2. 河川浄化の必要性と浄化施設設計

前述の竜田川の汚染は決して極端な例ではなく、この程度に汚染された中小都市河川は枚挙にいとまがない。戦後の高度経済成長期において、河川を汚染し、雨水排除管として利用してきた反省から、近年河川が都市に残された数少ない水と緑の都市空間として再認識されるようになり、危機的状況におかれている生活排水に汚染された都市河川の水質を、河川本来の水質に戻すため様々な取り組みがなされるようになってきた。

建設省は、下水道の整備を全面に押し出してこの状況に対応しようとしているが、下水道の整備には10年単位の長い年月を要するという欠点がある。厚生省は、合併浄化槽の普及をもくろみその設置に補助金を出しているものの、補助金の枠が少ない上、その維持管理費用が個人負担になることからそれ程の普及をみていない。環境庁は、生活排水による河川汚濁の著しい地域を「生活排水重点地域」に指定し、「生活排水対策推進計画」の策定に補助金を出すとともに、この推進計画にのっとって設置される「生活排水汚濁水路浄化施設」や「生活排水汚濁改善簡易設備」の整備事業にも補助金を交付している。

表2・1には、平成5年度に実施された生活排水汚濁水路浄化施設の実施場所とその処理方式を示した。これら浄化施設では河川浄化微生物が付着生育するための担体としてのひも状、波板状等の接触材を用いる接触酸化処理が処理の主体となっている。これら浄化施設の設置目的は、生活排水で汚濁された河川水の水質（特にBOD値）を環境基準値のレベルにまで低下させることであるが、いずれもその処理能力は小さく、これら施設の設置により河川水質の改善が十分になされていないのが現状である。生活排水汚濁水路浄化施設は、あくまでも下水道が整備されるまでの暫定施設であること、処理の対象となる河川の水量がぼう大であること等の理由から、その設計には次のような要件を考慮に入れなければならない。

表2・1 生活排水汚濁水路浄化施設整備事業実施箇所（平成5年）<sup>2)</sup>

	処理水量 (m <sup>3</sup> /日)	対象水路水質 BOD(mg/l)	処理方式	流入先河川等の状況		
				河川・湖沼 海域	類型	水質(BOD:mg/l)等
岩手県二戸市	72	36	生物膜ろ過法	白鳥川	C	12
宮城県迫町	1,200	60	接触酸化法	迫川	A	3.4
茨城県小川町	700	40	接触ばっ気法	園部川	A	4
千葉県船橋市(継続) 市川市	4,600 1,000	55 49.2	接触ばっ気法 接触ばっ気法	海老川 春木川	E E	22 32
新潟県両津市	500	100	生物膜ろ過法	加茂湖	A	(COD) 3.2
滋賀県マキノ町	1,000	20	接触酸化法	中ノ川	A	3.2
奈良県平群町	60	29.2	接触酸化法	竜田川	C	8.6
岡山県岡山市	※ 240	20	生物膜ろ過法	児島湾	A	(COD) 3.5
高知県窪川町 十和村	4,032 270	22.5 50	接触酸化法 接触酸化法	吉見川 松本谷川	A A	3.4 3.8
福岡県大牟田市	※ 40	23	接触酸化法	堂面川	B	8.1
大分県臼杵市	40	25.7	接触酸化法	中臼杵川	AA	2.8
宮崎県都城市	※ 150	30	接触ばっ気法	姫城川	E	28

※水辺周辺整備事業も実施

## 2. 1 浄化施設設計のための要件

### (1) 効率的なBOD、SS除去が可能である

生活排水汚濁水路浄化施設は、下水処理のように6～12時間もの長い時間かけて処理するものではなく、せいぜい2～4時間の短い滞留時間でBODを10mg/L以下程度に低下させることを目指している。この浄化施設で窒素、リンまで除去できればそれに越したことはないが、通常はこれら栄養塩は生活排水汚濁水路浄化施設ではあまり除去されない。

### (2) 建設コストが安い

前述のように、生活排水汚濁水路浄化施設は下水道が敷設されるまでの暫定施設であることから、その建設にぼう大な資金をかけられない。

### (3) 維持管理が容易である

処理施設がBOD、SSの完全除去を目指すものではないことから、その維持管理も容易なものでなければならない。維持管理の中には当然処理施設内部に蓄積される汚泥の処理も含まれるが、処理施設内に蓄積した汚泥が施設内部で自己酸化して減容・安定化できるような施設が望ましい。

### (4) 啓発効果がある

現在の下水道は、管きよ、処理施設とともに住民の目に見えない形にしてしまったことが一因となり、結果的に下水に対する住民の関心が薄らいで下水道が都市のごみ捨て場となり、その処理に多大な費用をかけているのが現状である。下水道の二の舞を踏まないためにも、住民の目に触れ易い場所に、住民の目を引くような生活排水汚濁水路浄化施設を設置することが好ましい。住民が浄化施設を目の当たりにすることによって、生活排水で汚染された河川の浄化がどれ程大変なことであるかを実感できる啓発効果があがる。

### (5) 住民参加が可能

住民が啓発を受けるような生活排水汚濁水路浄化施設であれば、生活排水汚濁水路浄化施設の維持管理に住民の自動的な参加が期待できる。住民参加によって、浄化施設の維持管理費用が軽減されるばかりか、更なる住民の啓発にもつながってくる。

## 2.2 多孔性コンクリートブロックによる汚濁河川水の浄化

生活排水汚濁水路浄化施設に充填する接触材の一つとして、我々は多孔性コンクリートブロックに着目した。多孔性コンクリートブロックは、当初海水の浄化用の担体として開発されたもので、水際の構造物として優れた性能を有していることが認められている<sup>3)</sup>。我々は、この多孔性コンクリートブロックを低い濃度の汚水処理に使うべく、多孔性コンクリートブロックを充填したパイロットスケールの水路を用いてその浄化能力を検討してきた。その結果、光のある条件で多孔性コンクリートブロックを使用すると藻類の付着生育による酸素の供給を期待できること、設置の仕方によっては多孔性コンクリートブロックの大きな比表面積を活用して気液接触面積を高めることができるので酸素移動速度が高まること、そのすぐれたSS捕捉能力から多孔性コンクリートブロックを通過した水は大きな透視度を有すること等が明らかになった<sup>4)</sup>。本研究では、生活排水汚濁水路浄化施設の充填材の一つとして多孔性コンクリートブロックを採用し、その充填材としての特性を実施設で発揮できるかどうか検討した。

## 2.3 水生植物を用いる汚濁河川水の浄化

これまでに、多くの研究者により水生植物を用いて排水中の栄養塩（窒素、リン）を吸収除去させる様々な処理方法が提案されてきた<sup>5),6)</sup>。これら処理法においては処理に伴って必然的に大量発生する植物体の効率的な最終処分方法の確立と、植物の生長の停止する冬場での処理をどうするかが依然として未解決の大きな問題として残されており、それ程広く普及するには至っていない。

我々の研究室では、食糧として、又酵素（ペルオキシダーゼ）の抽出材料として有効利用の見込める東南アジアの水生野菜パックブン（*Ipomoea aquatica*）を用いる下水2次処理水の最終仕上げ処理法につき検討してきた<sup>7),8)</sup>。また、汚濁した河川の浄化法として礫床で汚濁した河川の浄化を行いながら、礫床上で園芸用の花卉植物やトマト等を水耕栽培する「水耕栽培型河川浄化法」を提案してきた<sup>9)</sup>。これら水生植物や花卉植物を活用する処理方法を汚濁河川の浄化に採用すれば、住民の目に触れるかたちで河川浄化が実行できるので、住民の啓発効果の高い、住民を巻き込むことの出来る下水処理や河川浄化が可能となると考えられる。

## 2.4 多孔性コンクリートブロックと水生植物を用いる汚濁河川浄化施設

本研究では、多孔性コンクリートブロックと水生植物を組み合わせた新しいタイプの汚濁河川浄化施設

を設計製作し、生活排水で汚染された河川水を処理対象排水として浄化試験を行い、その浄化能力を学術的に評価した。

### 3. 処理実験施設の概要

汚濁河川として全国ワースト1（平成7年度）である奈良県、大阪府を流れる大和川の支流・竜田川に、生駒市と平群町が設置した2基の生活排水汚濁水路浄化施設の処理機能を生駒市、平群町と我々の研究室との共同研究として、学術的に検討してきている<sup>10)</sup>。これら生活排水汚濁水路浄化施設は従来の接触酸化法に植物の有する栄養塩除去能力を組合せることで、自然の有する汚水浄化能力を最大限に活用できるよう、しかも周辺住民の啓発にもつなげることを目的として設計されたものである。

#### 3. 1 生駒市に設置した河川浄化施設の概要

生駒市に設置された生活排水汚濁水路浄化施設（以後、生駒市浄化施設と略す）の模式図を図3・1に、装置の写真を写真3・1、2にそれぞれ示した。水中ポンプでくみ上げた汚濁河川水は可変型計量槽を通して一定流量が浄化施設に導かれる。浄化施設は沈砂池、接触酸化槽、多孔性コンクリートブロック槽、それに水生植物栽培槽から構成されている。それぞれの槽の容量を表3・1に示した。

表3・1 生駒市浄化施設の容量

施設名	容量(m <sup>3</sup> )	備考
沈砂池	1.80	
接触酸化槽	6.75	
多孔性コンクリートブロック充填槽	2.25	上部には砂利を充填
水生植物栽培槽	3.0	栽培面積 6 m <sup>2</sup>
合計	13.3	

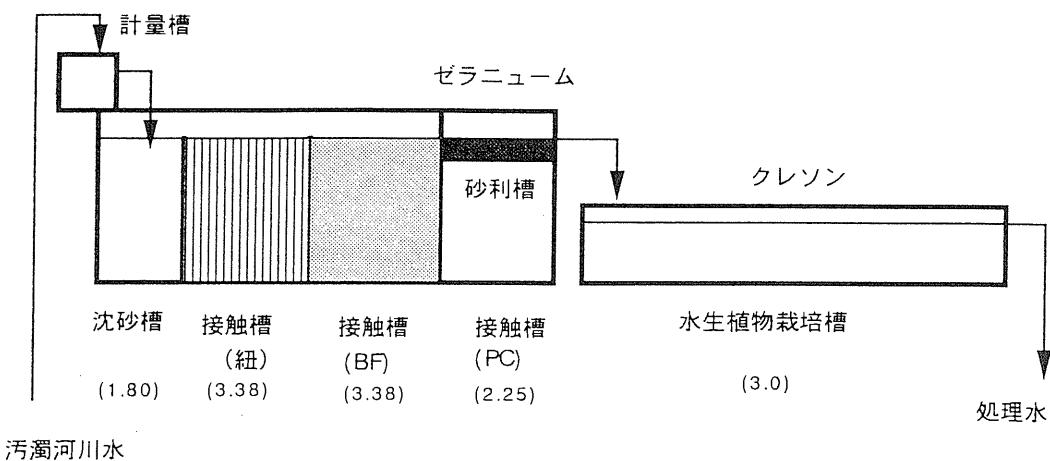


図3・1 汚濁河川浄化施設模式図

平成5年7月～平成8年5月まで、接触酸化槽1、2には紐状接触材（商品名：バイオモジュール、（財）土木研究センター）を98m、接触槽3には塩化ビニリデン製の紐状接触材（商品名：リングレース）を88m、写真3・3、4に示すように水の流れに対して垂直となるよう充填した。接触槽1～3の上部は写真3・5に示すように遮光用不織布（日本バイリーン（株）製）をかけて遮光し、接触材表面での藻類の増殖を抑制した。多孔性コンクリートブロック槽には、空隙率30%の直径10cm、長さ30cmの円柱状の多孔性コンクリートブロック（株）コクコン製）を450ヶ充填し、その上部には5号碎石を厚さ10cm充填し、花卉植物の栽培床とした。接触酸化槽と多孔性コンクリートブロック槽の下部に散気管を設置し、0.4m<sup>3</sup>/分の風量で曝気をかけた。栽培床には夏期から冬期にかけて、ゼラニュームを30株ロックファイバー製の穴あきポット（日東紡績（株）、50×50×50cm）に写真3・6のように固定して栽培床に埋め込み水耕栽培した。平成8年5月からは、接触槽3の接触材として、紐状接触材に替えてポリエスチル製の乾式不織布を担体材料とする菊花断面（8枚羽）の接触材（商品名：バイオフレックス、直径10cm、長さ63cm、日本バイリーン（株）製）90本を写真3・7のように充填した。水生植物栽培槽は深さ0.5m、表面積6m<sup>2</sup>で容量3.0m<sup>3</sup>である。供試水生植物としては、平成5年の夏期～冬期にかけてはボタンウキクサを栽培槽に浮遊させた状態で栽培した。平成6年冬期からは栽培槽に沈設した鉄製の架台の上に5号碎石を詰めた大型バケット（58×42×23cm）を設置して栽培床とし、市販のクレソンを差し芽して栽培した。

#### \* ボタンウキクサ (*Pistia stratiotes L.*)

ボタンウキクサは熱帯アフリカ産の浮遊性の多年性水生植物である。寒さに弱く、日本では沖縄以外では越冬することができない。ボタンウキクサは世界3大水生雑草（ホテイアオイ、ボタンウキクサ、サンショウモ）の一つで、ホテイアオイに次ぐ増殖能を有している。ボタンウキクサの増殖はホテイアオイと同様、繁殖茎（ストローン）によって行われる。（写真3・9参照）

### 3.2 平群町に設置した河川浄化施設の概要

平群町に設置した生活排水汚濁水路浄化施設（以後、平群町浄化施設と略する）の模式図を図3・2に示した。処理施設は写真3・8に示すように、全長24m、幅0.8m、全高1.6mのステンレス製の8槽からなる箱状構造である。水中ポンプでくみ上げた汚濁河川水は可変型計量槽を通して一定流量が浄化施設に導かれる。浄化施設は沈砂池、接触酸化槽、多孔性コンクリートブロック槽、それに水生植物栽培槽から構成されており、その施設構成は生駒市のそれと基本的には同様である。各槽の容量を表3・2に示した。

表3・2 平群町浄化施設の容量

施 設 名	容 量 (m <sup>3</sup> )	備 考
沈砂池（1）	2.80	
接触酸化槽（2～5）	13.4	
多孔性コンクリートブロック充填槽（6）	3.4	上部は砂利を充填した
水生植物栽培槽（7）	3.4	栽培面積2.16m <sup>2</sup>
魚栽培槽（8）	3.4	
全 体	26.4	

※（ ）内の数字は槽番号を示す。

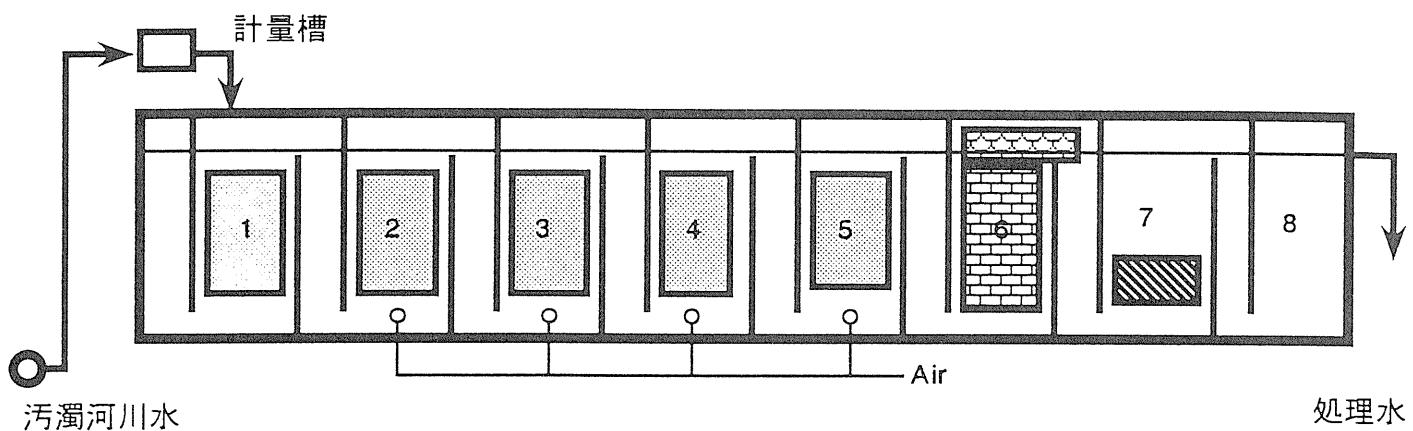


図3・2 汚濁浄化施設模式図（平群町）

図中の番号は、表3・2の番号と対応する

沈砂池には塩化ビニル製の比表面積  $36\text{ m}^3/\text{m}^2$  の波型接触材（ヒシパッキンF A H-100、三菱樹脂株）を  $1.36\text{ m}^3$  充填した。接触酸化槽には比表面積  $71\text{ m}^3/\text{m}^2$  の波型接触材（ヒシパッキンF K-40）を  $8.21\text{ m}^3$  充填した。多孔性コンクリートブロック槽には、円柱状（ $\phi 100 \times 300\text{ mm}$ ）の多孔性コンクリートブロック（空隙率30%、（株）ホッコン製）を400本を写真3・10に示す状態で充填した。多孔性コンクリートブロックの上部には5号砕石を10cmの厚さで充填し、花卉植物の栽培床とした。続く水生植物栽培槽の下部には、接触酸化作用のみならず吸着作用をも兼ね備えた活性コーカス（商品名：ホタルストーン、（株）ケイハン製）100kgを写真3・11に示すように網袋にいれて投入した。上部では浮遊性の水生植物（ボタンウキクサ、ホテイアオイ）を栽培した。最終槽には、放流水質の監視と発生汚泥量の削減・無機化を目的にワキンの稚魚を20匹放流した。第2槽～第8槽には全体で  $0.13\text{ m}^3/\text{分}$  の風量で酸素溶解効率が高く、目詰まりの心配の少ない散気管をエラストックロール（三鈴工業株）を用いて曝気した。プロアには、騒音、設置面積の問題のない水中プロアポンプを採用した。



写真3・1 生駒浄化施設（沈砂池、接触酸化槽、多孔性コンクリートブロック槽）



写真3・4 紐状接触材（リングレース）の設置状況



写真3・2 生駒浄化施設（水生植物栽培槽）



写真3・5 遮光用不織布による接触槽の遮光



写真3・3 紐状接触材（バイオモジュール）の設置状況



写真3・6 ロックファイバーに固定したゼラニューム

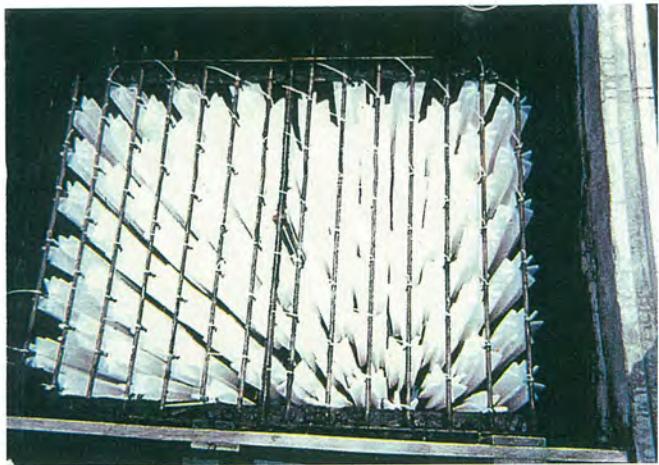


写真3・7 不織布担体（バイオフレックス）  
の設置状況



写真3・10 多孔性コンクリートブロックの  
充填状況



写真3・8 平群浄化施設の全体写真



写真3・11 網袋こ入れたホタルストーン



写真3・9 ボタンウキクサ  
(発達した根毛とストローンによる増殖の様子)

## 4. 処理成績

### 4. 1 生駒市河川浄化施設の運転成績 (平成6年7月～平成7年4月まで)

平成6年7月13日に浄化施設の運転を開始した。運転開始日に、処理施設の最終槽である水生植物栽培槽にボタンウキクサを2.38kg植え付けた。図1・1に示したように流入水の水質は大幅に変化するので、サンプリング時間によって処理水の水質が変化する。そこで、24時間の連続サンプリング試験を行って流入水、処理水の水質を検討し、一日の最も平均的な水質の得られる正午前後をサンプリング時間と決定した。サンプリングは月1～2回の頻度で行った。

図4・1に試験期間中の流入水量と負荷量の変化を示した。処理施設に取り込む汚濁河川水の量は開始当初 $1.2\text{m}^3/\text{時}$ と低く設定したが、接触酸化槽に生物膜が成長したのを確認した後、8月3日からは流入排水量を $3.9\text{m}^3/\text{時}$ に増加させ、水理学的滞留時間3時間程度で処理施設を運転した。TOC容積負荷量は、試験期間中 $23\sim150\text{g-TOC/m}^3/\text{日}$ で変化した。処理温度は、夏期 $30^\circ\text{C}$ 以上にも上がったが、冬期には $5^\circ\text{C}$ 台に低下した。これ以後に示す図において、横軸にとった時間(日)は浄化試験を開始した7月13日を0日とする経過時間を示している。

#### (1) BOD除去

試験期間中のBOD除去の経時変化を図4・2に示した。試験期間中、処理対象とした竜田川のBOD濃度は $20\sim40\text{mg/L}$ の間で変動し、平均濃度 $32\text{mg/L}$ であった。施設の設計段階では、流入河川水のBOD濃度を $20\text{mg/L}$ 程度と予想していたことからするとかなり高い流入BOD濃度となり、このことが処理水BOD濃度が安定して $10\text{mg/L}$ を切ることができなかった原因の一つとなった。試験期間中、BODは平均64%の効率で除去された。

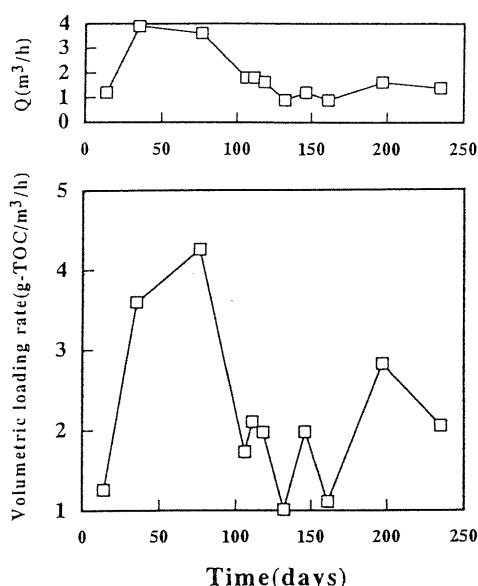


図4・1 流入水量と負荷量の経時変化

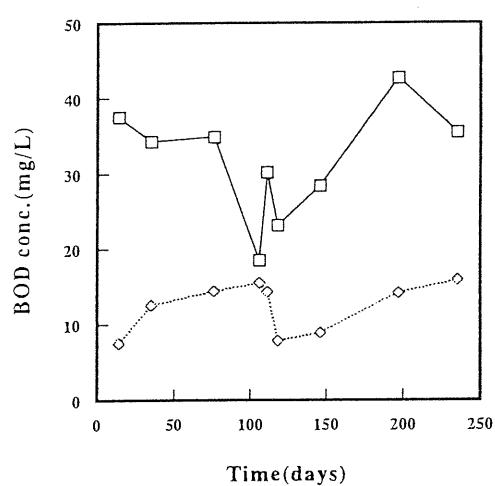


図4・2 BOD除去の経時変化

—□— Inf. BOD

····◇···· Eff. BOD

## (2) T O C除去

試験期間中のT O C除去の経時変化を図4・3に示した。試験期間中の河川水の(BOD/T O C)の比は約2程度と、都市下水の(BOD/T O C)の比とほぼ同等であった。プラントの立ち上がり期と冬期に処理水のT O C濃度が10mg/Lを越えたが、水生植物栽培槽でボタンウキクサが栽培槽全体を覆うようになった9月以降、処理水T O C濃度は8mg/L前後で安定した。試験期間中、T O Cは平均して44%の効率で除去された。

## (3) S S除去

試験期間中のS S除去の経時変化を図4・4に示した。処理対象の河川水にはS Sがかなりの濃度で含有され、しかもかなりの幅で変動した。2月2日に処理水のS S濃度が13.3mg/Lと高かった以外、処理水のS S濃度は5mg/L以下で極めて透明な処理水が得られた。特にボタンウキクサが栽培槽全体を覆うようになって以降、ボタンウキクサの根毛のろ過作用が有効に機能して処理水の透明度が50cmを越え、本浄化装置の優れたS S除去能が実証された。試験期間中、S Sは平均して78%の高い効率で除去された。特に、不織布を担体材料とする接触材を投入した3年目の試験では、処理水の透視度が1mを越えるようになり、不織布担体の優れた生物膜持能力が浄化に貢献していることが明らかとなった。

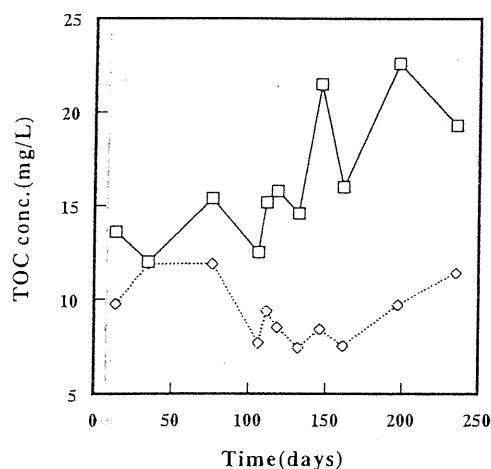


図4・3 T O C除去の経時変化

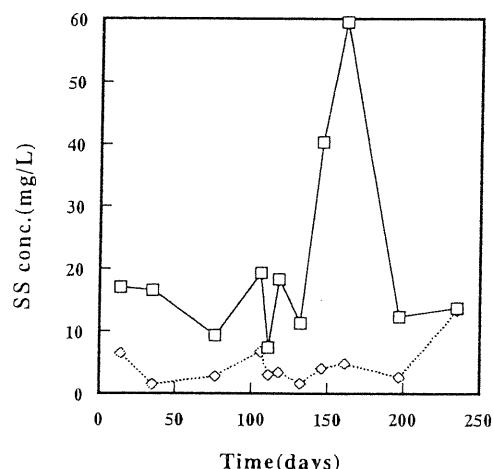


図4・4 S S除去の経時変化

## (4) T - N除去

試験期間中のT - N除去の経時変化を図4・5に示した。処理対象の河川水にはT - Nが高濃度で含有され、試験期間中の平均流入T - N濃度は11.6mg/Lであった。処理対象の河川水の(BOD/T - N)

比は 2.7 と低く、都市下水の ( $BOD/T-N$ ) 比が 6 度であることを考慮すると、流入汚濁河川水は生物処理するには窒素過多の水であった。汚濁の原因が生活雑排水であるのであれば、これ程の窒素過多の水質にはならないはずで、これには下水道未整備地域で広く普及している単独浄化槽の処理水（単独浄化槽では、 $BOD$  は除去されても  $T-N$ 、 $T-P$  はほとんど除去されない）が原因していると考えられる。

流入河川水の  $T-N$  濃度が  $BOD$  濃度に比して高かったことから、水生植物による栄養塩除去しか期待できない本浄化施設での  $T-N$  除去効率は当然悪くなる。試験期間中、 $T-N$  は平均して 11.6% の効率で除去されたにすぎなかった。しかし、ボタンウキクサが栽培槽全体を覆うようになった状態では、27~38% の効率で  $T-N$  が除去されており、水生植物栽培槽の栽培面積を増加させることによってより高い  $T-N$  除去効率を得ることができると考えられる。

#### (5) $T-P$ 除去

試験期間中の  $T-P$  除去の経時変化を図 4・6 に示した。窒素と同様、処理対象の河川水には  $T-P$  が高濃度で含有され、試験期間中の平均流入  $T-P$  濃度は  $1.77\text{mg/L}$  であった。都市下水の ( $BOD/T-P$ ) 比が 50 度であることを考慮すると、流入汚濁河川水は  $T-P$  も過多の水であった。これには前述の単独浄化槽の処理水が関係していると考えられる。試験期間中、 $T-P$  は平均して 17.4% の効率で除去されたにすぎなかった。その除去率の変動は  $T-N$  の場合よりも大きく、この点についての更なる検討が必要である。

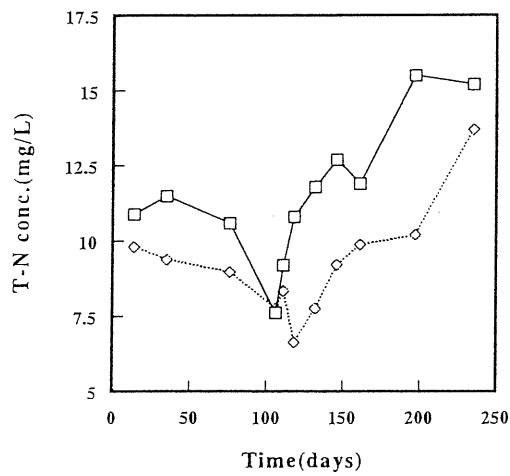


図 4・5  $T-N$  除去の経時変化

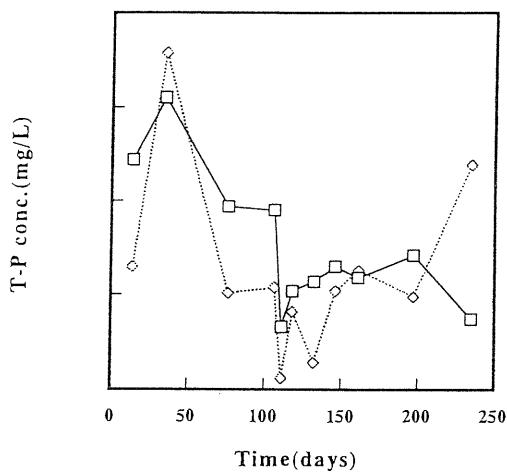


図 4・6  $T-P$  除去の経時変化

—□— Inf.T-N  
····◇··· Eff.T-N

—□— Inf.T-P  
····◇··· Eff.T-P

#### (6) 陰イオン界面活性剤の除去

試験期間中の陰イオン界面活性剤除去の経時変化を図4・7に示した。竜田川での洗剤による発泡状況から予想したことであるが、処理対象河川水にはメチレンブルーと反応する物質(MBAS)が高い濃度で(平均3mg/L)含有されていた。MBASは予想外に本浄化施設で効率的に除去され、処理水MBAS濃度は平均0.99mg/Lに低下した。この程度のMBAS濃度であれば、段差のある場所での曝気による発泡を押さえることが可能となる。試験期間中、MBASは平均64%の高い効率で除去された。

#### (7) ボタンウキクサの生育

ボタンウキクサを7月13日に2.38kg植え付けた後、1月13日まで約200日間にわたって水生植物栽培槽にて栽培した。8月に入って写真4・1に示すようにボタンウキクサが栽培槽の水面を全面カバーするようになり、その後14~20日おきに存在量の20~33%を間引くことでボタンウキクサの栽培管理を行った。図4・8に本処理施設におけるボタンウキクサの生育の経時変化を示した。9~10月にかけてボタンウキクサは最も良好な生育を示し、わずか6.0m<sup>2</sup>栽培面積であるにもかかわらず、1回あたりのボタンウキクサの収穫量が20kg(湿重量)にも達した。試験期間中、最終的に101kg(湿重量)ものボタンウキクサを収穫できた。これ以外の栽培槽でのボタンウキクサの存在量の増加を考慮すると、試験期間中で131kg(湿重量)のボタンウキクサが栽培水槽で増殖したことになる。処理温度と比増殖速度との関係から、ボタンウキクサの生育に適する水温は25~30°Cで、その時の比増殖速度は0.06日<sup>-1</sup>であった。最大の収穫量が得られた時の実験値を基にボタンウキクサの増殖能を計算すると939t(湿重)/ha/年となった。これにボタンウキクサの含水率94.5%、窒素含有率2.96%、磷含有率0.662%をかけてボタンウキクサの栄養塩除去能力を試算すると表4・1のようになる。

表4・1 ボタンウキクサの栄養塩除去能力

ボタンウキクサ	最大収穫量	939 t(湿重)/ha/年
		51.6 t(乾重)/ha/年
	最大窒素除去速度	1.51 t-N/ha/年
	最大磷除去速度	0.342 t-P/ha/年
クレソン*	最大窒素除去速度	2.27 t-N/ha/年
	最大磷除去速度	0.401 t-P/ha/年
パックブン*	最大窒素除去速度	1.49 t-N/ha/年
	最大磷除去速度	0.239 t-P/ha/年

\*当研究室で圃地排水を使って水耕栽培した成績<sup>11)</sup>

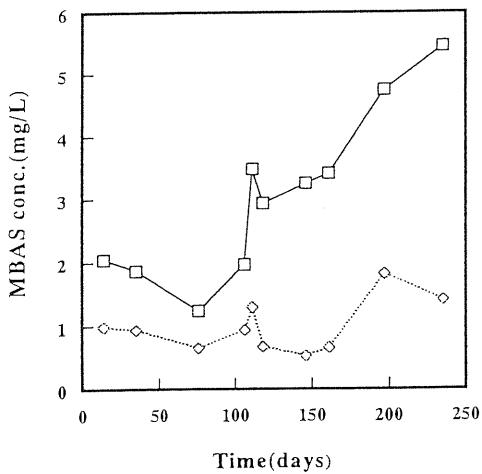


図4・7 陰イオン界面活性剤除去の経時変化

—□— Inf.MBAS  
····◇···· Eff.MBAS

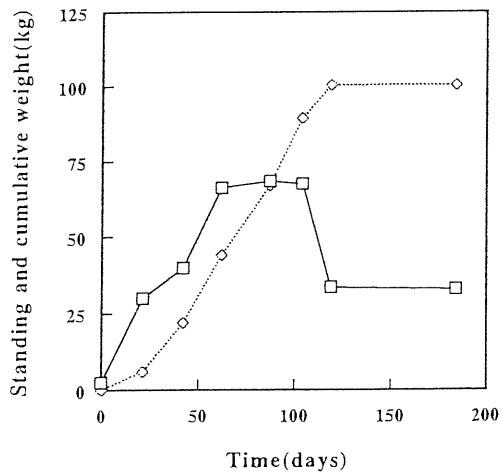


図4・8 ボタンウキクサの生育の経時変化

—□— standing weight(kg)  
····◇···· Cumulative harvested weight(kg)

#### (8) ゼラニュームの生育

9月に入って30株のゼラニュームを園芸店から購入し、土を洗い落とした後、ロックファイバー製の穴あきポットに根の部分を固定し、多孔性コンクリートブロック槽の上部の砂利からなる栽培床に植え付けゼラニュームを汚濁河川水で水耕栽培した。移植後1週間は水上げが悪く、若干生育の勢いが落ちたが、その後は汚濁河川中の窒素、リンを吸収して旺盛に生育した。写真4・2には多孔性コンクリートブロック槽上部の砂利栽培床で見事に花をつけたゼラニュームの様子を示した。この浄化施設は交通量の多い道路沿いに設置されたこともあり、このゼラニュームによる装飾効果は抜群で、多くの市民の関心を集め、浄化施設の前で立ち止まり、施設の説明板を読んでいただいた。ゼラニュームは、開花期間が長い上、差す木で簡単に栄養繁殖できること、冬期越冬できること等の理由から、浄化施設の啓発の目的に最もかなった花卉植物であることをパイロット試験で認めている<sup>9)</sup>が、このことが実証試験でも証明された。

#### (9) その後の運転経過（平成7年5月～平成8年12月）

前述のように、平成6年7月～平成7年4月にかけて本浄化施設の浄化機能について詳細な検討を加え、その浄化能力を大まかに捕らえることができたので、平成7年5月以降は、この浄化施設の処理能力の上限を明らかにする目的で流入負荷量を変動させた処理試験を行うとともに、この浄化施設を正常に機能させるのにどの程度の維持管理が必要となるかを明らかにすることをもう一つの目的として浄化試験を継続した。

2年半に及ぶ浄化試験期間中の平均的な水質は、TOC 16.8mg/L、T-N 11.4mg/L、T-P 1.6mg/Lであった。試験期間中での平均的な処理成績を表4・2に示した。

表4・2 淨化施設の平均処理成績

水質項目	S S	B O D	T O C	M B A S	T - N	T - P
流入水濃度 (mg/L)	16.8	31.0	16.4	2.82	11.4	1.6
処理水濃度 (mg/L)	4.59	13.3	9.28	0.84	9.3	1.44
除去率 (%)	72.7	57.1	43.4	70.2	18.4	10.0

S S と陰イオン界面活性剤の除去では満足すべき結果が得られた。B O D については、60%前後の除去率、T - N、T - P については 20%以下の除去率しか得られなかった。これには、流入 T - N、T - P 負荷量に比して、T - N、T - P 除去を担う水生植物栽培槽の栽培面積が小さかったことが原因となっている。

図4・9には、全処理期間中のT O C容積負荷量とT O C容積除去速度との関係を示した。T O C容積負荷量を  $100 \text{ g/m}^3/\text{d}$ 以下にとって運転したデータが多く、それ以上の負荷域での運転データが少ないが、傾向的にはT O C負荷量の増大につれてT O C除去速度も高くなることがわかる。しかし、負荷量が高くなると特に多孔性コンクリートブロック槽での目詰まりが顕著になることから、T O C容積負荷量を  $100 \text{ g/m}^3/\text{d}$ 以下にとる運転が望ましく、この運転負荷域であれば、約 40%のT O C除去率の得られることが明らかとなった。なお、T O C容積負荷量を  $100 \text{ g/m}^3/\text{d}$ での生駒浄化施設における平均的な水理学滞留時間は 3 時間程度であった。

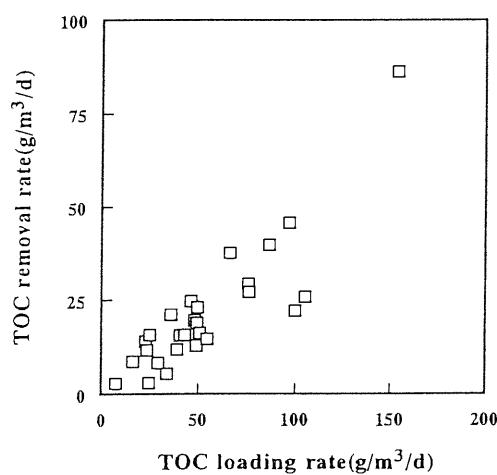


図4・9 生駒浄化施設のT O C除去能

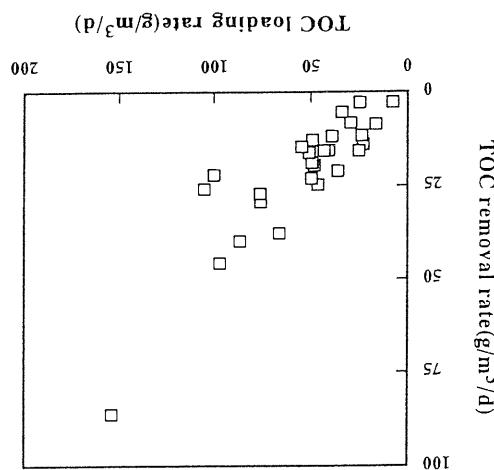
□ TOC removal rate(g/m<sup>3</sup>/d)

写真4・3には、紐状接触材（バイオモジュール）への生物膜の付着状況（通水後 1年 5ヶ月経過している）を示した。写真に示すように、目立った付着生物膜によるブリッジングは見られなかった。紐状接触材と最終槽の水生植物栽培槽のボタンウキクサの根に付着している生物膜の生物相を顕微鏡観察した結果、

材は最終槽の水生植物栽培槽の水位より多く分の根が付着し、(1)生物膜の生物相を観察調査した結果、(1)表示した。写真は示すように、目立つ生物膜は木工用の木質系と木質系である。粗状態

**写真4・3** 水生植物栽培槽の生物膜の付着状況 (運水後1年5ヶ月経過) (2)

図4・9 生物膜化施設のTOC除去能



水理学滞留時間3時間程度である。  
T-N、TOC容積負荷量を100g/m<sup>3</sup>/日の生物膜化施設は平均的  
な場合に比べて、TOC容積負荷量を100g/m<sup>3</sup>/d以下では運転方式、(2)の生物膜化施設は得ら  
(2)の特徴を多孔性で、(1)の構造の問題を少なくてよい。  
TOC容積負荷量を100g/m<sup>3</sup>/d以下では運転方式、負荷量が高  
い、傾向の運転TOC負荷量の増大と共にTOC除去速度も高くなるが、(2)の運転方式  
の運転量を100g/m<sup>3</sup>/d以上では運転方式が多い。  
T-N、TOC容積負荷量をTOC容積除去速度との関係を示す。  
図4・9 水生植物栽培槽中のTOC容積負荷量とTOC容積除去速度との関係を示す。

比して、T-N、T-PはDIN-Nが20%以下の除去率を得る能力がある。これを、流入T-N、T-P負荷量  
率、T-N、T-PはDIN-Nが60%前後の除去  
SSは膜方式の界面活性剤の除去率が得られなかった。  
BODはDIN-N、60%前後の除去

水質項目	SS	BOD	TOC	M-BAS	T-N	T-P	除去率(%)
流入水濃度(mg/L)	16.8	31.0	16.4	2.82	11.4	1.6	72.7
處理水濃度(mg/L)	4.59	13.3	9.28	0.84	9.3	1.44	57.1
除去率(%)							43.4
							70.2
							18.4
							10.0

表4・2 污化施設の平均処理成績

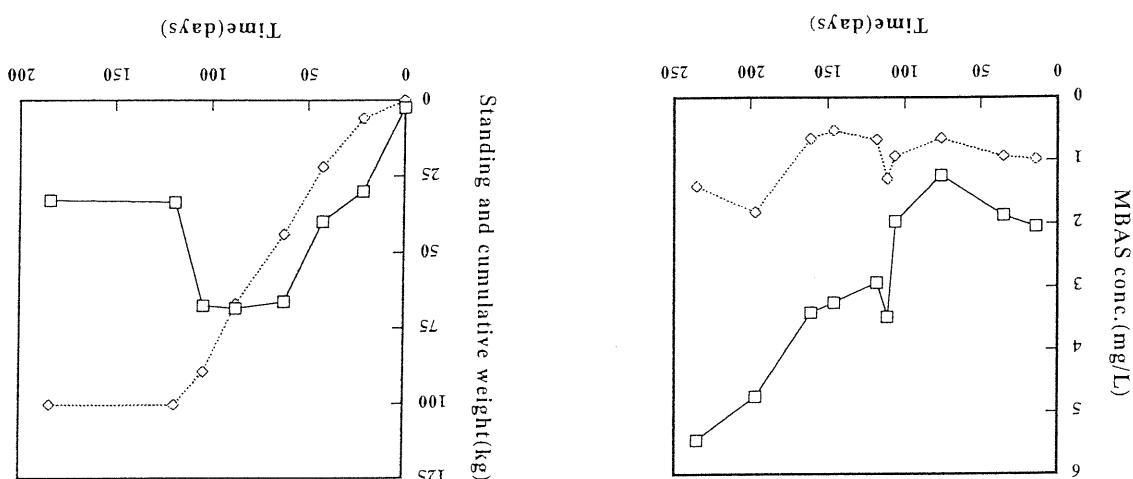
ある。試験期間中の平均的な施肥量成績を表4・2表示した。  
2年半以上及ぶ施肥期間中の平均的な水質は、TOC16.8mg/L、TN11.4mg/L、TP1.6mg/Lで  
以上の程度の施肥管理が必要であることを目的とした施肥を継続した。  
肥料による土壌人畜荷量を収穫した施肥試験を行ったところ、この施肥量を正確に把握する  
施肥の方法で、平成7年5月以降は、この施肥量の施肥能力の上限  
を示すために肥料を撒き方を工夫して、平成7年4月から本施肥量の施肥能として肥料を施肥した。  
前述のとおり、平成6年7月～平成7年4月は肥料の施肥能の施肥能を加え、

#### (9) 施肥の運転経過(平成7年5月～平成8年12月)

施肥の運転は、施肥終了までの理由は、施肥の目的の達成度が肥料による施肥物質の  
前立点であり、施肥の説明板を購入したときに。たゞ二点式、開花期間が長い上、差し水簡単化  
装置を机上に置いて、この点で二点式を導入した結果が大きい。多くの市民の関心を集中、施肥の  
機械の形状構造を見事に花巻市に付いた。この施肥装置は交通量の多い道路沿いに設置され  
て二点式施肥機の部分が固定し、多孔性により土壤上部の施肥力と施肥量を付けて施肥される。  
また、施肥機の水栓が堵まることで施肥が止む。器具生産の競争力が落ち、その  
機械の形状構造は、多くの施肥装置が購入された。施肥機の施肥力と施肥量の多孔性により土壤上  
部の施肥装置は見事に花巻市に付いた。この施肥装置は交通量の多い道路沿いに設置され  
て二点式施肥機の部分が固定し、多孔性により土壤上部の施肥力と施肥量を付けて施肥される。  
また、施肥機の水栓が堵まることで施肥が止む。器具生産の競争力が落ち、その  
機械の形状構造は、多くの施肥装置が購入された。施肥機の施肥力と施肥量の多孔性により土壤上  
部の施肥装置は見事に花巻市に付いた。この施肥装置は交通量の多い道路沿いに設置され  
て二点式施肥機の部分が固定し、多孔性により土壤上部の施肥力と施肥量を付けて施肥される。

#### (8) たゞ二点式の生育

図4・7 豊才ヶ原面活性剤除去の経時変化



織毛虫類の *Carchesium sp.* と珪藻類が多く観察された。(写真4・3、4) この他、線虫類、輪虫類、特に effluent polisher としての *Carchesium sp.* が多く観察されたことは、この浄化施設の処理水の透視度が高いことに深く関係している。

ボタンウキクサは、亜熱帯域で良く生育する水生植物であることから、冬期にはこの浄化施設内で生育できない。そこで、冬期には下水の高度処理に実績を認めているクレソン<sup>11)</sup>をボタンウキクサに代わって栽培した。クレソンは1月～3月は目だつて成長しないが、4月に入ると旺盛な生育を示した。その栽培管理は成長した茎を一月に1回程度刈り取ることで行った。写真4・5には、花をつけたクレソンを示した。クレソンは夏期には枯死すると予想していたが、意に反し夏期は増殖を示さないものの、水生植物栽培槽で枯れることなく夏を越し(写真4・6)、10月から再び旺盛に生育することを認めた(写真4・7)。平成8年の夏も平成7年度と同様に夏を越したことから、クレソンを使った通年処理が可能であることが明らかとなつた。ボタンウキクサは日本人には馴染みが薄いのに比べ、クレソンは肉料理の普及に伴い日本人にもポピュラーな野菜となっている。浄化施設前の施設を説明する看板に現在の栽培水草はクレソンとの表示をかけていると、近所の主婦の方から分けて下さいとの申し出が多くあった。将来、この種の河川浄化施設の管理が住民に任せられた場合には、食用として最終処分が可能なクレソンを通年栽培できることは、維持管理の面で非常に有利となるばかりか、他の水生植物との植え替えの手間が省け、しかも植え替えに伴う一時的な装飾効果の低下も防ぐことができる。

#### (10) 余剰汚泥発生量

浄化施設の能力を適正に引き出すためには、維持管理が必要であることは言うまでもない。維持管理の中で一番コストと手間がかかるのが、浄化施設で発生する余剰汚泥である。浄化施設を全酸化域で運転できれば、有機性の汚泥を発生させない運転が可能であるが、河川水には無機性のSSが多く含まれるので、どうしても定期的に余剰汚泥を引き抜くことが必要となってくる。そこで、どの程度の量の余剰汚泥が汚濁河川水の処理の過程で発生するか定量した。余剰汚泥の全く無い状態から浄化施設を3ヶ月連続運転させた後、接触槽の底部に設置している散気管で接触材に付着した汚泥を剥離させ、底部に沈殿堆積している汚泥と一緒にした状態で各槽内に蓄積されている汚泥量を実測し、余剰汚泥発生量とした。その結果、3ヶ月の処理で11kg(乾重)の汚泥が発生したことがわかった。この期間中の流入SS量が43.2kg(乾重)であったことから、0.255kg-SS/kg-SSの割合でSSが発生したことになる。試験期間中の竜田川の(BOD/SS)が1.85であることを考慮すると、0.138kg-SS/kg-BODの汚泥収率となり、本処理装置の余剰汚泥発生量は活性汚泥法のような下水処理法に比して小さいことが明らかとなった。

とはいっても余剰汚泥の引き抜きは不可欠で、どの程度の頻度で余剰汚泥の引き抜きを行うかが問題である。そこで、余剰汚泥の引き抜きを全く行わず、処理施設内部に余剰汚泥を蓄積させた状態で、どの程度の期間浄化施設を運転できるか検討した。余剰汚泥を引き抜かないでも、処理効率は落ちること無く1年間処理を継続できたが、多孔性コンクリートブロック槽が汚泥で閉塞し、ヘッドロスがつき、砂利層まで水位が高まるヘッドロスがついてしまった。この結果、この浄化施設での余剰汚泥の引き抜きは年に2回程度が

適当であることがわかった。その引き抜いた汚泥の処理であるが、汚泥乾燥床を設置して脱水を行った後処分することが好ましい。

#### 4. 2 平群町河川浄化施設の運転成績

平群町浄化施設も生駒市浄化施設と同時に平成6年7月13日に運転を開始した。運転開始日に水生植物栽培層にボタンウキクサを269kg（湿重）植え付けた。試料のサンプリング時間は24時間の連続採水試験の結果をもとに、一日の最も平均的な水質の得られる正午前後に設定した。処理施設に取り込む河川水量を $2\sim8\text{m}^3/\text{時}$ の間で変化させて浄化施設の運転を行った。1ヶ月に1~2回サンプリングを行い、浄化施設の処理能力を検討した。TOC容積負荷量は試験期間中 $50\sim130\text{g-TOC/m}^3/\text{日}$ で変化させた。

##### (1) BOD除去

運転開始から250日までのBOD除去の経時変化を図4・10に示した。試験期間中、処理対象とした竜田川のBOD濃度は $20\sim50\text{mg/L}$ の間で変動し、平均BOD濃度は $34\text{mg/L}$ であった。BOD濃度は夏期に低く、冬期に高くなる傾向がみられ、12月、1月では流入水のBODが $50\text{mg/L}$ にも達し、生活排水による河川汚濁が看過できない深刻な状況であることがわかる。処理水のBOD濃度は $9\sim25\text{mg/L}$ 変動した。試験期間中の平均処理水BOD濃度は $17.2\text{mg/L}$ で、試験期間中BOD濃度は47.6%の効率で除去された。予想していたより流入河川水のBOD濃度もかなり高かったことが、処理水BOD濃度が安定して $10\text{mg/L}$ を切ることができなかつた原因の一つとなつた。

##### (2) TOC除去

試験期間中（運転開始から約2年間）のTOC除去の経時変化を図4・11に示した。プラントの立ち上がり期と冬期にTOC除去能力の悪化が見られたが、その他の期間では安定して40%を越えるTOC除去を達成することができた。試験期間中TOCは平均して39.1%の効率で除去された。

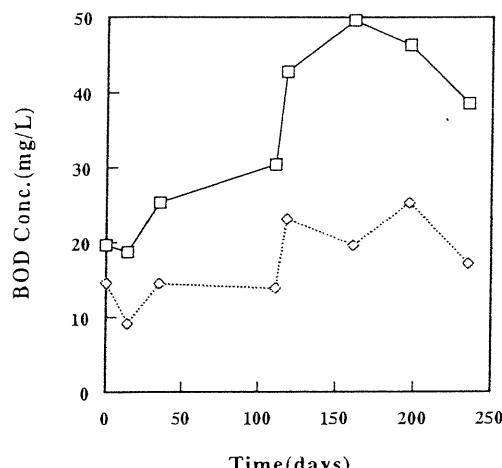


図4・10 BOD除去の経時変化

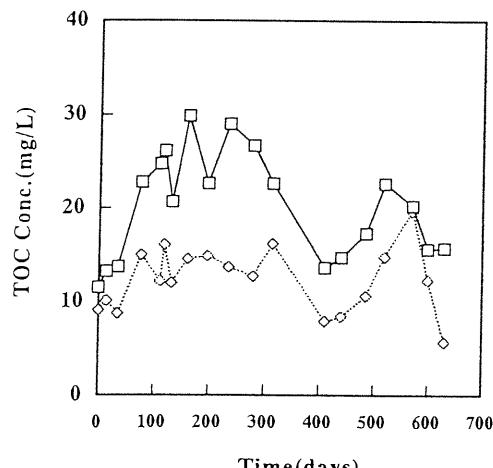


図4・11 TOC除去の経時変化

—□— Inf.TOC

····◇··· Eff.TOC

### (3) SS除去

試験期間中のSS除去の経時変化を図4・12に示した。処理対象の河川水にはSSがかなりの濃度で含有され、しかもかなりの幅で変動した。試験開始100日前後と600日前後で処理水のSS濃度が高くなつた以外、処理水のSS濃度は5mg/L以下で極めて澄明な処理水が得られた。試験期間中、SSは平均して58.2%の効率で除去された。このSS除去能は生駒市浄化施設のSS除去能に比して若干劣るものであるが、これには平群町浄化施設での水生植物栽培槽の栽培面積(2.16m<sup>2</sup>)が生駒市浄化施設の水生植物栽培槽の栽培面積(6.0m<sup>2</sup>)の約1/3であることから、水生植物の根によるろ過作用が生駒市浄化施設に比して小さいことが原因しているものと考えられる。

### (4) TN除去

試験期間中のTN除去の経時変化を図4・13に示した。処理対象の河川水にはTNが高濃度で含有され、季節によって大幅にその濃度が変動(夏期高く、冬期低い)した。試験期間中の平均流入TN濃度は10.7mg/Lであった。生駒市の場合と同様に、流入汚濁河川水は生物処理するには窒素過多の水であったことと、水生植物栽培槽の栽培面積が律速であったこと等の理由から、TNは処理期間を通じてわずか5%程度しか除去できなかつた。

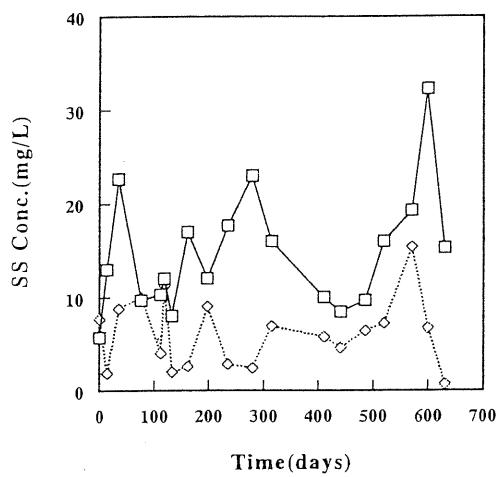


図4・12 SS除去の経時変化

—□— Inf.SS  
····◇···· Eff.SS

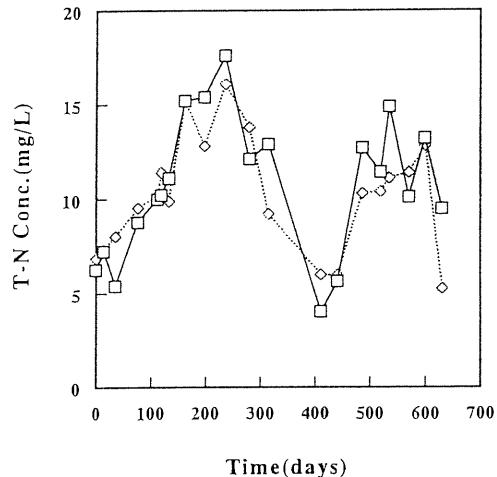


図4・13 TN除去の経時変化

—□— Inf.T-N  
····◇···· Eff.T-N

### (5) T-P除去

試験期間中のT-P除去の経時変化を図4・14に示した。試験期間中の流入河川水の平均T-P濃度は1.25mg/Lであった。試験期間中T-Pは平均して2.87%の効率で除去されたにすぎなかった。このT-P除去能は生駒浄化施設と比して大幅に劣るものであるが、これには栄養塩の吸収除去を担う水生植物栽培槽の栽培面積が律速であったことが関与している。

### (6) 陰イオン界面活性剤の除去

試験期間中の陰イオン界面活性剤除去の経時変化を図4・15に示した。処理対象河川水にはM B A Sがきわめて高い濃度で（平均4.0mg/L）含有されていたが、本浄化施設で比較的効率的に除去され、処理水M B A S濃度は平均1.88mg/Lにまで低下した。しかし、依然として発泡限界濃度を上回るM B A S濃度であり、特に除去能力の低下する冬場には3～4mg/LものM B A Sが残存し、曝気によって接触酸化槽で発泡が起こった。これには、図4・15から明らかなように冬期には流入河川水のM B A S濃度が6mg/L以上にも達したことが原因している。平群町浄化施設では、時として処理対象河川水に油膜の浮いていることが観察されたことから、町役場に上流地域の状況の調査を依頼した結果、自動車修理工場が浄化施設のすぐ上流地域にあることが判明し、この異常に高いM B A S濃度はこの自動車修理工場が原因となっていることが明らかとなった。このような異常にM B A S濃度の高い工場排水が河川に流れ込まなければ、この浄化施設でも生駒浄化施設と同様に、発泡限界値以下にM B A S濃度を低減することが可能である。

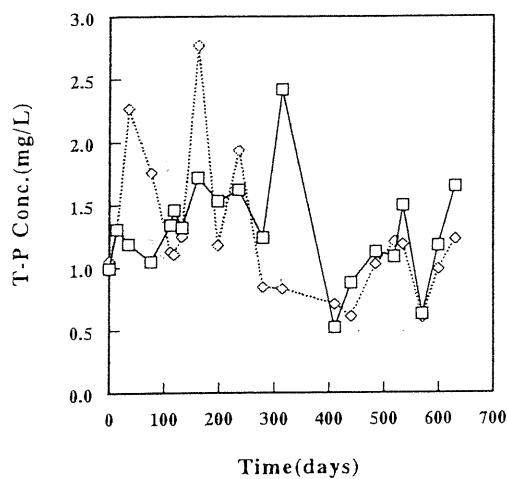


図4・14 T-P除去の経時変化

—□— Inf. T-P  
-----◇----- Eff. T-P

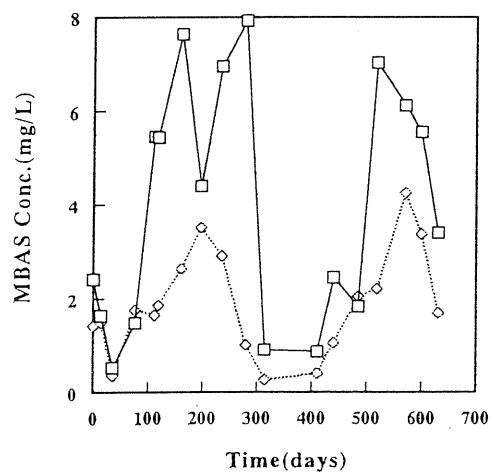


図4・15 陰イオン界面活性剤除去の経時変化

—□— Inf. MBAS  
-----◇----- Eff. MBAS

#### (7) ボタンウキクサの生育

ボタンウキクサを7月13日に2.69 kg（湿重）植え付けた後、1月13日まで約200日間にわたって水生植物栽培槽にて栽培した。写真4・8にはその生育状況を示した。ボタンウキクサが水生植物栽培槽の水面を完全に覆った以降は、生駒浄化施設と同様に14～20日おきに存在量の20～33%を間引くことで栽培管理を行った。図4・16に本浄化施設におけるボタンウキクサの生育の経時変化を示した。9～10月にかけてボタンウキクサは最も良好な生育を示し、わずか2.16 m<sup>2</sup>の栽培面積で、試験期間中最終的に30 kg（湿重量）のボタンウキクサを収穫することができた。この収穫量を生駒浄化施設でのボタンウキクサの収穫量とを栽培面積当たりで比較すると、当浄化施設でのボタンウキクサの収穫量の方が少ない結果となった。これには当浄化施設の構造が関係している。つまり、当浄化施設では、施設の上部から水面まで40 cmの空間があることから、日照時間が生駒浄化施設と比して少なくなっている、これが原因でボタンウキクサの生育が抑えられたと考えられる。

#### (8) 処理効率に及ぼすTOC容積負荷量の影響

試験期間中、流入水量を変化させることでTOC容積負荷量を50～130 g-TOC/m<sup>3</sup>/日の範囲で変化させ、TOC容積負荷量の変化がTOC除去にどのように影響を及ぼすか検討し、図4・17に示す結果を得た。TOC容積負荷量の増加につれてTOC容積除去量も増加し、試験した範囲内ではTOCが流入TOC容積負荷量に関係無く、約40%の効率で除去されることが明らかとなった。しかし、前述のようにTOC容積負荷量を必要以上に大きくすると、接触ろ材、特に多孔性コンクリートブロック槽での閉塞や、蓄積汚泥量の増加があるので、推奨されるTOC容積負荷量は100 g-TOC/m<sup>3</sup>/日程度である。

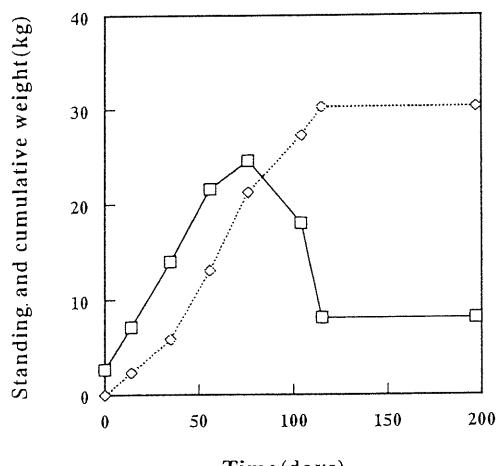


図4・16 ボタンウキクサの生育の経時変化

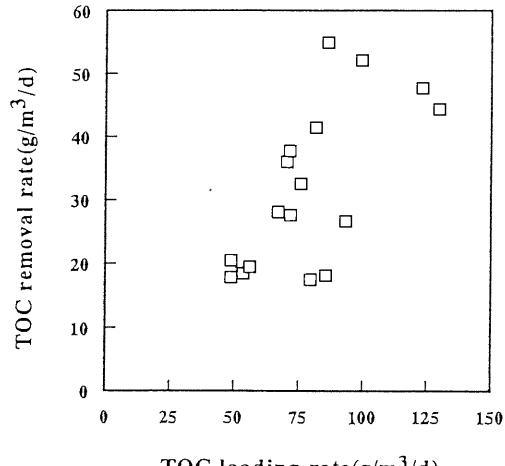


図4・17 平群浄化施設のTOC除去能

—□— standing weight(kg)  
····◇···· Cymulative weight  
□ TOC removal rate(g/m<sup>3</sup>/d)



写真4・1 水生植物栽培槽全面を  
タンウキクサが覆った状況

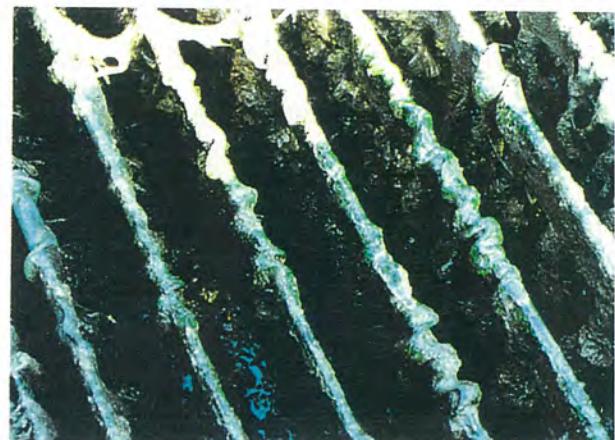


写真4・3 バイオモジュールへの生物膜付着状況



写真4・2 多孔性コンクリートブロック槽上部  
の砂利栽培床で花をつけたゼラニューム



写真4・4 紐状接触材に付着生育した  
生物膜中の *Carchesiumusp.* (倍率×100)



写真4・5 紐状接触材に付着生育した生物膜の  
顕微鏡写真 (倍率×200)



写真4・6 花をつけたクレソン（6月）



写真4・8 秋期におけるクレソンの旺盛な生育状況



写真4・7 夏期におけるクレソンの生育状況



写真4・9 平群浄化施設におけるボタンウキクサの生育状況

## 5. 水生植物の酸素輸送能力と有機物浄化能力

アシなどの湿地植物には、通気組織を通じて大気中の酸素を根部に送る能力があるので、根部の周辺域では好気環境が形成され、有機物酸化や硝化反応の進行することが明らかにされている<sup>11) 12)</sup>。ボタンウキクサは、有機物濃度が高く、溶存酸素濃度の低い環境域でも生育できることから、ボタンウキクサにも湿地植物と同様の酸素輸送能力が備わっており、それがボタンウキクサによる水質浄化に有効に働いていると推察された。そこで、ボタンウキクサの酸素輸送能力、ならびにその根部での有機物浄化能力を実測した。

### 5. 1 ボタンウキクサの酸素輸送能力の測定

図5・1の実験装置を用いて、外部からの酸素の侵入をシャットアウトした状態で、ボタンウキクサの見かけの酸素輸送能力を測定した。ボタンウキクサの培養液には表5・1に示す組成の修正 Arnon & Hoagland 培養液<sup>14)</sup>を使用し、培養液のDO濃度を窒素ガスで20分間脱気して0.5mg/L程度にまで低下させた後、ボタンウキクサを植え付け屋外の日の当たる場所で実験を行った。図5・2にその結果を示した。光を遮断した状態では培養液のDO濃度は変化しなかったが、光を照射した条件では培養液のDO濃度が時間の経過とともに上昇したことから、ボタンウキクサの根からの酸素放出速度は光の照射に関係することが明らかになった。このように測定したデータを用いて、ボタンウキクサの見かけの酸素輸送速度を次式によって求めた。

$$V = (M - M_b) / t \cdot A$$

V : ボタンウキクサの見かけの酸素輸送速度 ( $\mu g - O_2 / h \cdot cm^2$ )

M : 日光照射時において実験時間中に褐色瓶中の培養液で増加した酸素量 ( $\mu g - O_2$ )

$M_b$  : 対照実験において実験時間中に褐色瓶中の培養液で増加した酸素量 ( $\mu g - O_2$ )

t : 実験継続時間 (h)

A : 日光照射実験に用いたボタンウキクサの葉の表面積 ( $cm^2$ )

ここで、DOの増加量をボタンウキクサの葉の表面積で割ったのは、ボタンウキクサの見かけの酸素輸送速度が光の照射に関係し、光を受ける葉の面積が大きいほど高い酸素輸送速度が得られると考えたからである。

表5・1 Arnon & Hoagland 培養液の組成<sup>13)</sup>

成分	濃度 (mg/L)
KNO <sub>3</sub>	36.1
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	3.87
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	293
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	103
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	147
FeSO <sub>4</sub>	1.82
酒石酸	0.8
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.95
MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.39
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0.03
ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.08
H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.33

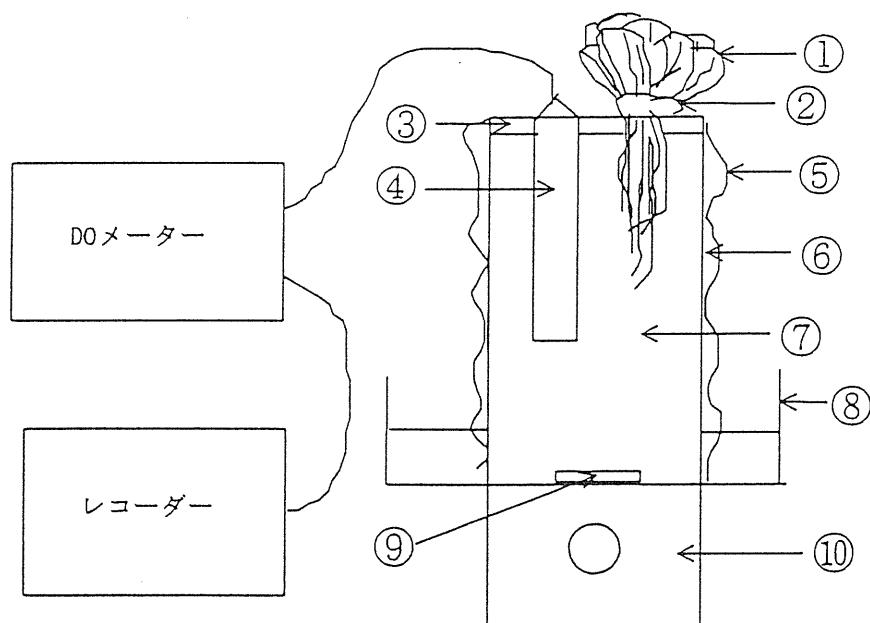


図5・1 ボタンウキクサの酸素輸送能力測定実験装置

- ①ボタンウキクサ ②シリコングリース ③ゴム栓
- ④酸素電極 ⑤アルミホイル ⑥褐色ガラス瓶
- ⑦修正Arnon & Hoagland培養液 ⑧水槽
- ⑨スターラーバー ⑩マグネチックスターラー

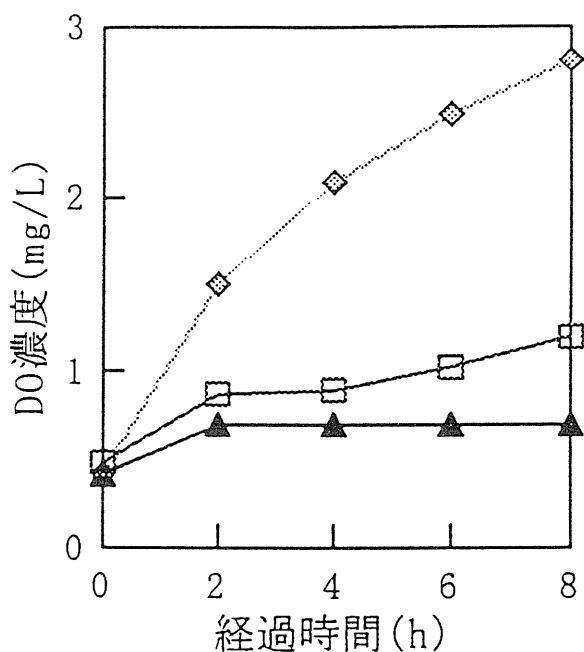


図5・2 ボタンウキクサの酸素輸送能力によるDO濃度変化

- ◆ 日光照射
- ▲ 日光遮断
- ボタンウキクサなし

培養液のDO濃度の変化は、葉部から根部への酸素輸送速度と根部でのDO消費速度とのバランスによって決定される。図5・3には、光照射時のボタンウキクサの見かけの酸素輸送能力が根の重量によってどのように変化するか、根の重量の異なるボタンウキクサを用いて検討した結果を示した。根の重量が増加するにつれて、ボタンウキクサの見かけの酸素輸送速度は減少するが、これは根の重量が増加するにつれて、ボタンウキクサの根部に付着している微生物量が増え、それに付随して微生物による呼吸量が増加したことを見ている。ボタンウキクサの葉部を切り離した根部をDOで飽和させた培養液に浸漬させ、ボタンウキクサの根圏微生物の呼吸速度と根の乾燥重量との関係を検討し、図5・4に示す結果を得た。予想したように根圏微生物の呼吸速度はボタンウキクサの根の乾燥重量に比例した。

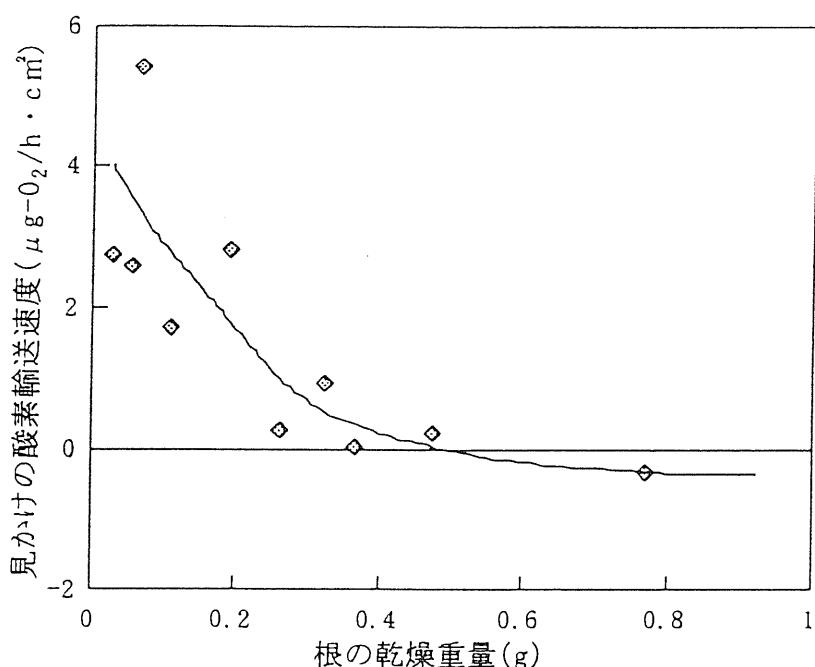


図5・3 ボタンウキクサの見かけの酸素輸送速度とボタンウキクサの根の乾燥重量との関係

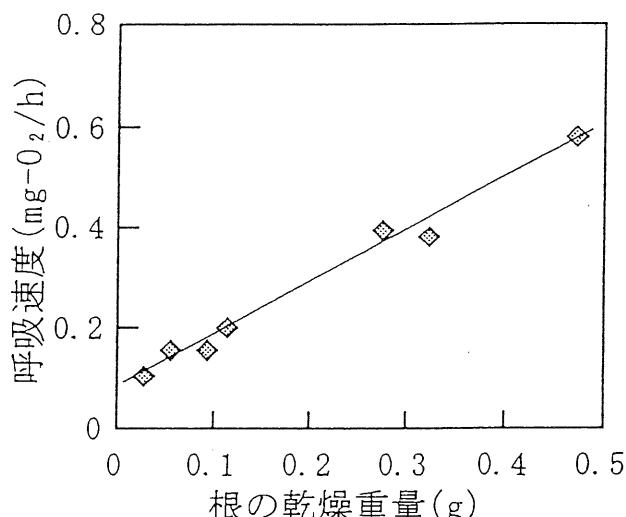


図5・4 ボタンウキクサの根圏微生物による酸素消費

写真5・1には、ボタンウキクサの根部の断面の実体顕微鏡写真を示した。ボタンウキクサの根部組織には多数の空隙が放射状に配置されており、この空隙を通して気孔から取り込まれた酸素が根部に送られていることがわかる。ヨシなどの沼沢植物でも同様の空隙が根部組織で観察されていることから、このような根部での大きな空隙組織は水生植物に特有のものであると考えられる。



写真5・1 ボタンウキクサの根の断面（倍率×50）

図5・5には、ボタンウキクサの見かけの酸素輸送能力を他の水生植物の見かけの酸素輸送能力<sup>15)</sup>と比較した結果を示した。この図から、ホティアオイとゼニグサはボタンウキクサよりも高い見かけの酸素輸送能力を持ち、ヒルムシロ、ガマはボタンウキクサよりも低い見かけの酸素輸送能力を持つことがわかるが、ボタンウキクサのデータの中にもホティアオイやゼニグサに匹敵するものもあり、ボタンウキクサの酸素輸送能力はそれ程低くないと考えられる。

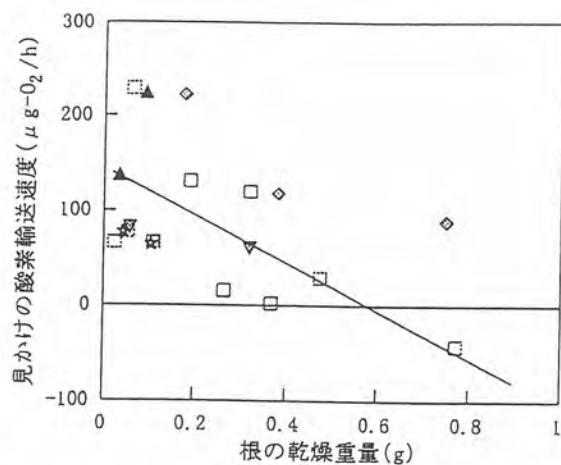


図5・5 ボタンウキクサと他の水生植物との酸素輸送能力の比較

- ボタンウキクサ
- ◇ ホティアオイ
- ▲ ゼニグサ
- ★ ヒルムシロ
- ▽ ガマ

## 5. 2 ボタンウキクサによる合成下水処理

外部からの酸素の侵入を遮断できる実験装置を組み立てて、脱気した肉エキス、ペプトンを主体とする表5・2に示す組成の合成下水中にボタンウキクサを植え付け、曝気無しの条件下で合成下水のTOCがボタンウキクサによりどのように分解除去されるか検討した。合成下水の初発TOC濃度が55mg/Lの条件下で、ボタンウキクサを植え付けた実験、ボタンウキクサの根のみ植え付け好気状態に維持した実験（合成下水を脱気せず、水面からの酸素侵入を可能にした）、同じく嫌気に維持した実験をそれぞれ行い、図5・6に示す結果を得た。好気条件下では、若干のTOC濃度の低下が見られた。嫌気条件下では、かえってTOC濃度が上昇した。ボタンウキクサを植え付けた実験では、速やかなるTOC濃度の低下が見られた。この実験結果は、ボタンウキクサの酸素輸送能力と、根に付着する微生物の有機物分解能力がカップルしたときのみ効果的な有機物除去が起こることを示している。

表5・2 合成下水の組成

成分	濃度(g/L)
肉エキス	80
ペプトン	120
尿素	20
NaCl	6
KCl	28
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	3.71
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	4.1
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	50.4

CODcr:100g/L  
水道水で所定濃度に希釈して使用

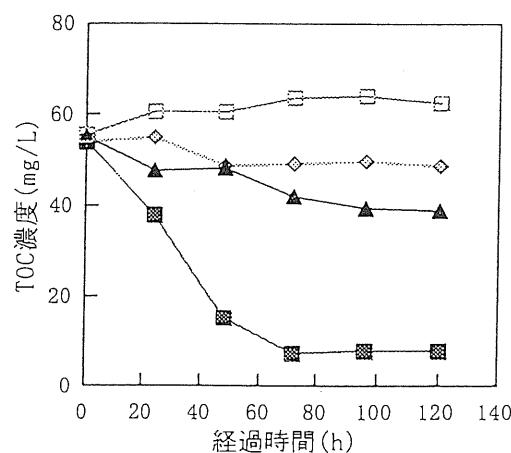


図5・6 ボタンウキクサによる合成下水処理の経時変化

- (葉+根) / 嫌気
- ◆ 合成下水のみ
- ▲ 根/好気
- 根/嫌気

図5・7には、供試合成下水の初発T O Cの濃度を 13.6~116mg/Lまで変化させて、酸素供給無しの条件で行ったボタンウキクサによる浄化試験の結果を示した。初発T O C濃度が50mg/L以下であれば、2~3日でほぼ完全にT O Cが除去されるが、それ以上の濃度になると完全にT O C濃度を低レベルまで除去することができなかった。これには、初発T O C濃度が高く、ボタンウキクサが嫌気条件下に置かれる時間が長くなると、ボタンウキクサ自体の生理活性が阻害を受け、気孔からの酸素取り込み能力が低下することが関係している。それ故、ボタンウキクサの根部への酸素輸送能力を汚水の浄化に使う際には、長期間にわたって根部が嫌気条件下に置かれることのないような配慮が必要である。

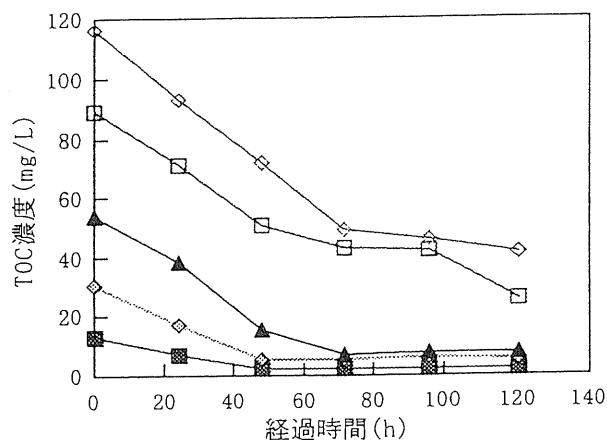


図5・7 初発T O Cを変化させた場合のボタンウキクサによる合成下水処理の経時変化

以上の実験結果から、汚濁河川浄化の栄養塩除去と処理装置の装飾、住民の啓発を狙って使用しているボタンウキクサのような水生植物には、根部に付着生育する微生物の作用とボタンウキクサの酸素輸送能力との組合せによって、曝気等で外部から酸素を供給することなく、前段の接触酸化槽で食い残された有機物をさらに分解できることから、最終段階での水生植物の使用が浄化施設の機能向上に有利に働くことを認めた。

## 6. 今後の課題

これまで、約3カ年に及ぶ汚濁都市河川の浄化に関する現場実験での経験から学んだ、河川浄化施設の設計、運転で留意しなければならない課題を以下列挙する。

### (1) 濁水対策

雨天時に河川の水位が上がった場合、そのまま河川水を汲み上げると濁水を汲み上げる結果となり、揚水ポンプの摩耗のみならず、浄化施設内に土砂が蓄積されるといった問題を招く。その結果、汚泥処理の費用がかさむことになるし、処理施設の有効容量が減少するだけでなく、生物膜の表面を濁水成分であるシルトが覆ってしまい浄化機能がそこなわれてしまう。この問題に対応するには、揚水ポンプに水位計だけではなく、濁度計をも組合せ、一定値以上の濁度を有する河川水を浄化施設に汲み上げないような手立てを取る必要がある。

### (2) 蓄積汚泥の無機化

接触材を利用する浄化においては、付着汚泥が肥厚すると脱落が起こり、一時的に処理機能が低下する。これを防ぐためには、定期的に曝気等で付着汚泥を剥離して新しい接触面を作つておくことが肝要である。問題は、剥離した汚泥を如何に処分するかである。前述のように施設の性格上維持管理には多大な費用をかけられないので、施設内部で沈殿汚泥を効率的に無機／減容化することで、引き抜きの頻度を押えることが好ましい。それには、浄化装置の底部を工夫することで、濃度の高い汚泥を一箇所に集めることのできるような底部構造に設計することが大切である。

### (3) 騒音対策

浄化施設では、曝気用プロアーと汲み上げ返流水や放流水の落下音が騒音の原因となる。曝気用プロアーの騒音は、吸入口での防音パイプの設置、防振ゴムの設置、防音カバーの設置等でかなり押えることが可能である。また、平群町の施設のように水中プロアーを使用することも一策である。落下音については、配管を川の水まで延長することである程度の対応は可能である。このような対応でも騒音が問題となるような場所（住宅地に隣接している）に浄化施設を設置しているような場合には、浄化施設の運転を夜間中止することも騒音対策上考慮しなければならない。

### (4) 害虫対策

浄化施設の中に死水域が存在すると、ボウフラ、ユスリカ等が発生し周辺住民に対し迷惑施設となってしまい、その設置目的からはずれてしまう結果を招きかねない。その対策としては、死水域が出来ないような設計に心がけることはもちろんあるが、防虫ネットで浄化施設の上部空間をカバーするとよい。

### (5) 藻類対策

接触酸化槽の上部空間をそのままにして運転を継続すると、接触材の上部に藻が大発生し、発生した藻類により接触担体間でブリッジングが生じて液の混合が不十分となったり、生物膜の腐敗によって悪臭が発生する。このような状況に陥らないためには、光を遮断できる構造に浄化施設を設計する必要がある。すでに開放形で接触酸化槽を運転している場合には、遮光効果のあるネット（寒冷沙など）で上部を覆うことも考慮しなければならない。（防虫ネットとの併用も考えられる）

### (6) 効率的な接触材の開発

河川浄化に適した接触酸化材には次の要件を満たすことが要求される。

- ・安価である
- ・強度がある
- ・微生物付着能力が高い
- ・逆洗が容易である

一方、今回試験に使った活性コークスのような、吸着タイプの接触材を使用するときにはこれ以外に、次のような要件も考えなければならない。

- ・再利用が可能
- ・自己再生能力があること

### (7) 安全対策

住民に対して啓発効果があり、しかも住民参加を促す汚濁河川浄化施設を設計する際には、十分な安全対策を頭に入れた設計がなされなければならない。

## 7. まとめ

多孔性コンクリートブロックと水生植物を組み合わせた、生活排水で汚濁された都市河川の新しい浄化方法について、汚濁した都市河川を供試排水とする長期間にわたる実証試験を行うとともに、浄化の最終仕上げと栄養塩除去を目的に使用した水生植物の根圏への酸素輸送能力と汚水浄化能力について定量的な評価を行い、次の結論を得た。

(1) 紐状接触材と不織布担体を用いる接触酸化槽と多孔性コンクリートブロックを充填した接触酸化槽、それに水生植物栽培槽を組み合わせた容量  $13.3\text{m}^3$  の浄化施設を T O C 容積負荷量を  $10\sim150\text{g/m}^3/\text{日}$  で変化させて運転した。その結果、この浄化施設は、試験した負荷域内では負荷量に関係無く T O C を約 40% の効率で除去できること、洗剤による発泡を抑えるレベルにまで陰イオン界面活性剤を効率的に除去できること、水生植物の根のろ過作用の結果 S S が効率的に除去され、透視度 50 cm 以上の澄明な処理水の得られ

ること、T-N、T-Pが水生植物によって摂取除去されることが実証試験で明らかになった。また、クレソンをこの浄化施設で通年栽培できること、多孔性コンクリートブロック槽の上部に設けた砂利層でゼラニウムを水耕栽培でき、花と水生植物の緑で浄化装置が装飾され、住民に浄化施設をアピールすることができた。

(2) 波板接触材を用いる接触酸化槽と多孔性コンクリートブロック槽、それに活性コークスを底部に充填した水生植物栽培槽を組み合わせた容量 26.4m<sup>3</sup>の浄化施設をTOC容積負荷量を 50~130g/m<sup>3</sup>/日で変化させて運転した。その結果、TOCを試験した負荷範囲内では約 40%の効率で除去できること、陰イオン界面活性剤とSSが効率的に除去されることを認めた。T-N、T-Pについては、水生植物の栽培槽の面積が律速となってあまり除去できなかった。

(3) ボタンウキクサは光の当たった条件で、気孔から取り込んだ酸素を根部に送る能力の備わっていることを実験的に証明した。曝気を行わない条件でボタンウキクサによる合成下水の浄化試験を行い、ボタンウキクサによる根圏への酸素供給と根圏微生物の働きで、合成下水のTOCが効果的に除去されることを認めた。

## 謝 辞

本研究は平成6年度～平成8年度の河川環境管理財団からの研究助成によった。研究の遂行にあたり、浄化施設の建設、提供に多大なご協力を頂いた、奈良県生駒市役所環境管理課、平群町役場民生部保険衛生課の皆様に心から謝意を表します。又、本研究に直接関与し協力頂いた、重村浩之君（大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻平成7年度修了、現建設省土木研究所三次処理研究室）に深く感謝いたします。さらに、水質分析など研究に協力頂いた大阪大学工学部環境工学科水質管理工学研究室、熊本大学工学部環境システム工学科環境衛生研究室の学生諸君にお礼申しあげます。この他、現場実験にあたってお世話頂き、研究の遂行に多大なご協力を頂いた、アジア航測株式会社関西生産技術部環境計画部環境企画課の皆様に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) たつた川万葉クリーン計画：70,生駒市 (1993)
- (2) 平成6年度生活排水対策担当者会議資料：環境庁水質保全局水質規制課 (1994)
- (3) 玉井元治他：46回セメント技術大会講演集,492 (1992)
- (4) 古川憲治他：日本水処理生物学会誌,27,67 (1991)
- (5) R.Dings : Journal WPCF,50,833 (1978)

- (6) C.M.Rebecca & B.C.Wolverton : Economic Botany : 34 (1989)
- (7) S.Hashimoto, K.Furukawa and Y.Ozaki : J.Ferment. Tech., 63, 343 (1984)
- (8) 橋本獎, 古川憲治 : 日本水処理生物学会誌, 27, 47 (1991)
- (9) 藤田正憲他 : 河川美化・緑化調査研究論文集, 2, 233 (1993)
- (10) 古川憲治, 重村浩之, 藤田正憲 : 第30回日本水環境学会年会講演集, 77 (1996)
- (11) K.Furukawa and M.Fujita : Environmental Research Forum, 5-6, 319 (1996)
- (12) J.Armstrong and W.Armstrong : New Phytol. 108, 373 (1988)
- (13) P.L.E.Bodelier : Appl. Environ. Microbiol., 62, 4100 (1996)
- (14) D.J.Arnon and D.R.Hoagland : Soil Sci., 60, 463 (1940)
- (15) K.K.Moorhead and K.R.Reddy : J. Environ. Qual., 17, 138 (1988)