

地球にやさしい汚水処理技術の研究・開発(報告2)

— 植物栽培による生活排水のリサイクル —

山内康生 竹野大志 石崎修造

Recycling of domestic waste water by plant cultivation

(report 2)

Yasuo YAMAUCHI, Taiji TAKENO, and Shyuzo ISHIZAKI

Nitrogen and phosphorus that are included in the waste water have been the problem as the factor of eutrophication especially in the semi-closed water area. At present, the removal of nitrogen and phosphorus from the wastewater is required the advanced wastewater treatment, and huge cost is spent on constructing, and the running require huge energies. Thereupon, we thought that nitrogen and phosphorus that are included abundantly in the domestic wastewater that are able to utilize as a nutrition resource of a plant. To utilize the nitrogen and phosphorus in the domestic waste water as a nutrition resource of the plant, we made irrigable water from it with 1) pressure floatation and 2) ozone treatment, and the cultivation of the seedlings of five kinds of trees was tried.

These pretreatment was able to remove SS (Removal rate on an average : about 70%) and COD (30%) from the domestic waste water, however total nitrogen and phosphorus was not lost. On the vegetation, finely they grew for five months.

Key word : plant cultivation, the domestic waste water, recycling

キーワード 植物栽培 生活排水 リサイクル

1 はじめに

生活排水等の汚水に含まれる窒素やリンは、都市化の進んだ地域の閉鎖性水域において、富栄養化の要因として問題視されている。現在、窒素やリンの処理は、高度処理を必要とし、その処理施設の建設費やランニングコスト等、大きな費用を必要とする。また、運転時において大きなエネルギーが消費される。

そこで、本研究では、マクロで機械的な処理方法ではなく、その汚水中に豊富に含まれる窒素やリンを植物の栄養源として簡易で安価に回収し、植物かん水として利用することを目的とした。ここでは、汚水処理施設における高度処理の代替えとして、温室を設置し、温室栽培により汚水中の窒素、リン及び温室効果ガス(CO₂)を除去吸収し、付加価値の高い植物を栽培する等、処理水や汚泥を外部に出さない完全循環型(回収・再利用)の汚水処理新技術の開発を目指すものである。

今回は、生活排水を対象に、加圧浮上により1次処理

を行った生活排水をかん水として用い、植物栽培をおこなったので報告する。

2 施設概要

森山町上名地区農業集落排水施設(上名アクアリフレッシュセンター)の隣接地に設置した。敷地面積 120m² 程度のビニールハウス内には、加圧浮上装置(1次処理施設)と1レーン 7.2m²の植物栽培路5レーンを設置した。温室内概要を図1に示す。

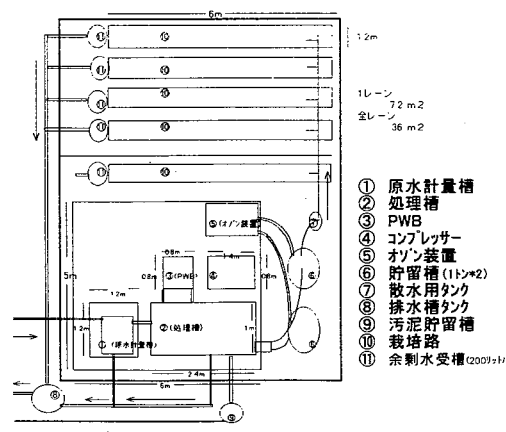


図1 温室内概要

2-1 加圧浮上装置 (PWB: purification of water by bubble system)

(株)シャパンアクアテック製作。PWB装置の分離方式は、加圧浮上分離方式。

通常生じる気泡の大きさは 30~100 μm であるが、PWB装置では 10 μm 以下である。当施設で用いたPWB装置は、流量調整槽、処理槽、コンプレッサー、気泡発生装置からなり、1 時間程度で 2m³ の生活排水を処理できる。

2-2 オゾン発生装置

能力は 400mg/h, 風量 15L/min のもの。脱臭・脱色効果がある。

2-3 植物栽培路

幅 1.2m, 長さ 6.0m, 深さ 0.6m の遮水シートで被膜したブロック製の栽培路。中央には直径 0.1m, 長さ 6.0m の集水管を挿入した。1 レーン 7.2m² で計 5 レーン設置した。

2-4 栽培土

栽培路底からボラ土を 10cm 敷き詰め、その上に籾殻 7~10cm 被せ、土壌配合比が培養土:クantan:シリカ = 70:28:2 の栽培土を栽培路下から高さ 60cm になるように施工した。

2-5 栽培植物

比較的、気候変化に強く、汚水(栄養塩負荷)にも強いと考えられる樹木の苗木(5 種類、各 100 本)を対象とした。(表 1) なお、樹木の苗木は、道路端沿道や公園内の植樹として需要が見込まれる。

表 1 栽培植物名

キンモクセイ
ベニカナメ
タブ
サンゴジュ
サザンカ

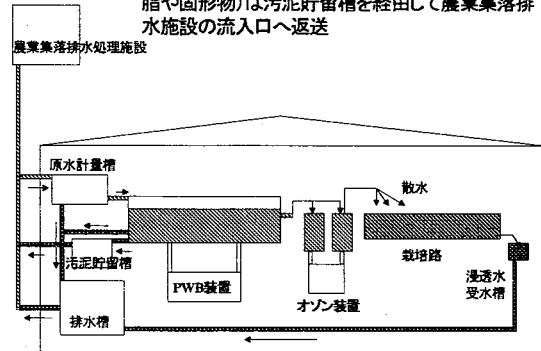
3 実験

<当施設による生活排水浄化>

汚水処理施設から放流される処理水を植物栽培のかん水として用いる場合に、安定した水質濃度を供給する必要があり、また散水時の根詰まり防止のためには懸濁物質の除去も必要となる。実験水系フローを図 2 に示す。

**生活排水利用による植物栽培
(水系フロー)**

1. 実験に使用する汚水は農業集落排水処理施設に流入する生活排水原水を使用
2. 生活排水は原水計量槽を経由して処理槽に導入し、PWB(超微細気泡発生装置)を用いて固形物を除去
3. 処理槽で発生するスラム(槽の水面に浮上した油脂や固形物)は汚泥貯留槽を経由して農業集落排水施設の流入口へ返送



4. 固形物が除去された処理水はいつん貯留槽に貯め、脱臭・殺菌のためオゾン処理する
5. オゾン処理を行った処理水は散水用計量タンクに移し、植物栽培路に散水する
6. 栽培路からの余剰水は排水槽を経由して農業集落排水施設の流入口へ返送する

図 2 実験水系フロー図

3-1 対象水

生活排水として、北高来郡森山町に位置する農業集落排水施設に流入する直前のマンホールよりポンプアップ(午前 10:00~11:00 採取)した汚水を使用した。

3-2 PWB による生活排水の浄化方法

設置されたPWB装置(2-1)は連続運転可能であるが、今回はバッチ方式で行った。処理槽に 2000 リットルの汚水を注ぎ、PWBにより 1 時間微細気泡を発生させ、15 分間待機後、浄化水槽中層部より処理水を貯水タンクへポンプアップした。

3-3 オゾンによるPWB処理水

検水として汚水を使用しているため、その細菌

汚染が心配される。そこで滅菌方法として、オゾン(2-5)による処理を貯水タンクでおこなった。

3-4 かん水条件

(3-3)より得られたかん水を平成 10 年 1 月から 5 月の 5ヶ月間、栽培路 1 本あたり約 66 リットル散水した。かん水条件を表 2 に示す。

表 2 かん水条件

かん水頻度	1回/4day
かん水量(平均)	60~80 リットル(66 リットル)/回
かん水回数	40 回

4 結果及び考察

生活排水原水を前処理として、1)加圧浮上法と 2)オゾン処理をおこない表3のようなかん水を得た。

表 3 当施設より得られるかん水の水質性状

	かん水 (オゾン処理)			PWB	生活排水 原水
	平均	最小	最大		
PH	7.6	7.4	7.8	7.5	7.7
透視度 (cm)	30<	30<	30<	4.6	4.5
SS (mg/l)	38	13.0	60.0	91	130
COD (mg/l)	42	27.8	57.7	120	170
T-N (mg/l)	45	39.9	50.8	44	44
T-P (mg/l)	4.5	4.1	5.0	4.7	5.0
溶存態					
D-COD (mg/l)	35	21.1	35.1	71	85
D-T-N (mg/l)	36	31.6	41.8	34	37
D-T-P (mg/l)	4.2	3.3	5.1	3.3	3.6
D-NO ₃ -N (mg/l)	15	0.4	42.0	1.2	1.7
D-NO ₂ -N (mg/l)	3.0	ND	10.8	ND	ND
D-NH ₄ -N (mg/l)	15	0.7	21.4	34	35
D-PO ₄ -N (mg/l)	4.1	3.1	5.0	3.2	3.2
D-Cl (mg/l)	49	43.1	56.5	45	48

4-1 PWB(超微細気泡発生装置)処理水の水質性状について

PWB(超微細気泡発生装置)を用いた加圧浮上方式による生活排水の懸濁物質の除去及び水質については、色は原水と同じく、鈍い黄橙色のままであり透視度も 4.6cm と低く、pH にもほとんど変化はなかった。生活排水原水と比較すると、SS、COD は 30%程度の除去率で、溶存態の項目についてはほとんど 10%以下の除去であり、PWB 処理の効果は固形物除去に限られた。

栄養塩類の除去はT-Pで 6%、T-N は1%とわずかであり、このことは、PWB 処理は固形物を取り除いておきながら、汚水中の窒素、リンをほとんどロスすることなく回収できる方法といえる。

4-2 オゾン処理水(かん水)の性状について

作業者の健康面からも衛生上必要とされるオゾン殺菌については、PWB 処理水と比較すると、NH₄-N は平均で約 50%の除去率を示した。逆に酸化が進み、NO₃-N は約 10 倍増加した。COD は 58% の除去であり、T-N、T-P はほとんど変化はなかった。しかし、D-T-P については 27%の増加が見られた。これは、オゾン酸化による懸濁物中の有機物の分解溶解によるものと考えられる。また、pHは 7.6 と大きな変化はなかったが、透視度は脱色が進み、30cm 以上と改善した。特徴的なのは、処理後においても、T-N、T-Pに濃度変化はなく、T-NとT-Pの比率が 10:1 で、アンモニア(D-NH₄-N)と硝酸態窒素(D-NO₃-N)の比率はほぼ同じであった。

オゾンによる殺菌効果については、短時間(3時間~6時間)では効果がでないが、連続して長時間(24 時間以上)処理させることにより、たとえば、汚染指標菌であるサルモネラ菌は死滅し、殺菌可能であった。(図3)

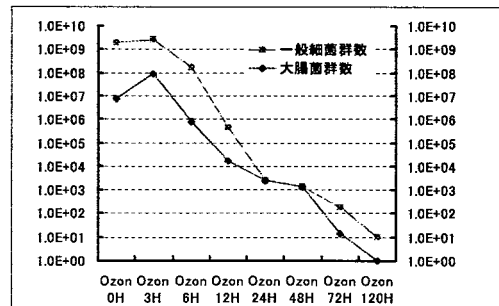


図3 オゾン処理により生活排水中の細菌群数の経時変化

4-3 浸透水水質結果について

植物の生育状況から 3 日間断水、4 日目に散水をおこなった。1回あたりのかん水量は平均 66 リットルであり、また栽培路からの浸透水量は、表4のようになった。

浸透水量は、各植物栽培路によって差があるが、4~5リットル/回程度で、ほとんど浸透水が生じない程度のかん水量とした。

5カ月間で浸透水槽へ溜まる水量は、日々の蒸発もあり 0~3 リットルであるため、浸透水を回収できない栽培路

表4 各栽培路のかん水量及び浸透水量 (リットル/回)

	栽培植物	サンゴジュ	ベニカナメ	タブ	キンモクセイ	サザンカ
1月	かん水量	60	50	60	60	60
	浸透水量	8	7	7	6	6
2月	かん水量	60	50	60	60	60
	浸透水量	6	5	6	5	6
3月	かん水量	60	50	60	60	60
	浸透水量	4	5	6	5	5
4月	かん水量	70	60	70	70	70
	浸透水量	3	5	6	5	5
5月	かん水量	80	70	80	80	80
	浸透水量	1.5	1	2	2	1.5
平均	かん水量	66	56	66	66	66
	浸透水量	4.5	4.6	5.4	4.6	4.7

もあったが、栽培開始から約5ヶ月後の浸透水の水質は表5のとおりとなった。わずかに生じる浸透水の窒素、リン濃度はかん水のそれと比較し、約25%まで減少したことから、特にリン濃度については5ヶ月目にしては土壤の浄化効果は落ちていなかった。(実験初期におけるサザンカの栽培路からの浸透水中の窒素、リン濃度はそれぞれ T-N 4.7mg/l, T-P 1.2mg/l であった。) そのほとんどは土壤による効果が大いと考えられる。しかし、CODは150mg/l以上の値を示した。そこで、アルカリ金属、アルカリ土類金属について調べたところ K (354mg/l), Ca (33mg/l), Mg (19.7mg) と高い値を示し、高CODとの関連が考えられる。

表5 各植物における浸透水水質について

	サンカ	キンモクセイ	タブ	ベニカナメ	サンゴジュ
PH	7.8	7.6	7.8	回収できず	7.7
透視度 (cm)	30<	30<	30<		30<
SS(mg/l)	34	30	30		37
COD(mg/l)	180	175	157		196
T-N(mg/l)	11	10	8		9.7
T-P(mg/l)	1.5	1.0	1.1		2.3
D-COD(mg/l)	159	145	157		186
D-T-N(mg/l)	11	8.6	7.7		9.3
D-T-P(mg/l)	1.4	0.93	0.6		2.3
D-NO ₃ -N(mg/l)	0.013	0.008	0.005		0.007
D-NO ₂ -N(mg/l)	ND	0.014	ND	ND	
D-NH ₄ -N(mg/l)	0.37	0.13	ND	ND	
D-PO ₄ -P(mg/l)	1.2	0.71	0.87	2.1	

4-4 植物生育状況について

植物生育状態を、表6のような樹木活力の評価基準を設定し、評価を試みた。評価結果を表7に示す。

<生育状況>

平成10年1月

5種類の樹木のうちキンモクセイ以外は、すべての項目についてA評価。キンモクセイは梢端・枝先の損傷がC評価で、その他の項目はB評価。また特に良好生育をみせたのは、ベニカナメであった。

温室内の状況については、オゾンの発生換気により病害虫の発生が防止されていた。

平成10年2月

キンモクセイは葉の形が縮んでしまう現象が現れ始め

表6 樹木活力の評価基準

	A. 良好な生育状態である。	B. 幾分の弱り被害がある。	C. 異常が明らかに認められる。	D 生育が止まり回復の見込みなし。
1. 樹勢	A. 自然樹形である。	B. 少々の痛みがあるが自然形に近い。	C. 自然樹形があるがくずれ変化が見られる。	D. 自然樹形が完全にくずれ奇形化している。
2. 樹形	A. 正常	B. 少々の痛みがあるが、あまり目立たない。	C. 枝が短小となり細く弱い。	D. 枝がひどく弱り活力がない。
3. 枝の伸長度	A. 正常	B. 少々あるが目立たない。	C. 多分に多く目立つ。	D. 重傷に近い。
4. 梢端・枝先の損傷	A. 正常	B. 少々変化あり	C. 変形・色変目立つ。	D. 落葉・枯色化が多い。

表7 各植物の生育判定結果(温室内)

	サンゴジュ					ベニカナメ					タブ					キンモクセイ					サザンカ				
	1月	2月	3月	4月	5月	1月	2月	3月	4月	5月	1月	2月	3月	4月	5月	1月	2月	3月	4月	5月	1月	2月	3月	4月	5月
1. 樹勢	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	C	C	C	A	B	B	B	B
2. 樹形	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	C	C	D	A	A	B	B	B
3. 枝の伸長度	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	C	C	D	A	B	B	A	B
4. 梢端・枝先の損傷	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A
5. 葉の形及び葉色	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	C	C	C	D	A	A	A	A	A
平均 伸長 (cm)	50	60	70	80	90	65	75	90	105	120	40	45	50	60	70	40	45	50	55	60	45	45	50	55	60

注) 屋外での露地栽培については、5種類とも、どの項目もすべてA判定。

た。また、サソの樹勢が止まった。ベニカメは春先の発育が1ヶ月位早い性質があるので、5種類の中でも特に成長が著しい。

平成10年3月

サソの植栽後の活着状態は良く、梢端の発育が活発になった。一方、キクセイの葉の収縮は進行した。サソの樹勢はやや回復し、ベニカメは良好に成長を続けた。

平成10年4月

キクセイは梢端・枝先の損傷、葉形の収縮がひどくなった。他の植物は良好であった。

平成10年5月

キクセイは梢端・枝先の損傷が重傷で、葉形の収縮もひどくなった。他の植物は良好であった。

5 考察・まとめ

生活排水原水を利用して、加圧浮上方式とオゾン処理のような簡単な方法により、植物かん水を得ることができた。これらの前処理は、散水時における根詰まり防止と安定した水質の供給を目的に、汚水中の固形物の除去をおこなったが、一方で、植物の栄養源である窒素やリンをロスすることなくかん水として回収利用可能な方法といえる。

また、このかん水による植物の生育状況は、概ね良好であったことから、得られたかん水の植物栽培への利用は、十分可能であることがうかがえた。栽培方法も1日あたり2~3リットル/m²程度の散水をおこなっていけば、5ヶ月目においても、土壌の窒素、リン除去効果が低下していないので、当施設の栽培土壌をもってすれば、土壌及び植物の栄養塩浄化能力は継続して活用できると考えられる。このことは当施設が、土壌への負荷があるとしても、施設からの排水がほ

とんど出ない無放流式の生活排水処理施設として、十分可能であると考えられる。

植物の生育はキンモクセイの成長が不良であり、今後、他種についても検討は必要ではあるが、おおむね満足する順調な植物の生育状況だと思われた。さらに、実験後半には、農業集落排水処理施設からの放流水(表8)をかん水として利用し、花卉についても検討を行ったが、良好に植物は生育できた。(植物栽培条件 表9 植物生育判定結果表10)

このような土壌による汚水処理は、過去にさまざまな研究、事例が報告されており²⁾³⁾⁴⁾、また、植物による水質浄化に関する研究も最近、水耕栽培に代表されるように多くみられる⁵⁾⁶⁾⁷⁾。しかしながら、土壌還元による汚水処理とあわせて、商品植物栽培を狙った取り組み、研究例については十分に見られず、産業としての実用化はされていない。ただし、今回、実験温室を設置させていただいた森山町のように農業用水が不足する地域では、生産者側の要請により、農業集落排水処理施設の放流水を水路に貯留し、かん水の一部として使用しているケースはよくある⁸⁾

汚水を再利用する場合、処理水中の肥料成分を有効利用する場合と、水量のみを水資源として利用する場合とに分けられるが、いずれにしても、供給水量と

表8 放流水(二次処理水)の総窒素・総リン濃度

T-N (mg/l)	7~10
T-P (mg/l)	1~2

表9 二次処理水による植物栽培条件

かん水頻度	1回/日
1回あたりの散水量	平均 50 ㍓/レーン (7.2m ²)
かん水量	約 7 ㍓/m ² /日
栽培路からの浸透水量	流出しない
栽培期間	平成10年10月 ~平成11年2月

表10 各植物の生育判定結果

	サツキ					ムルチコール					トイツアサミ					ガーベラ				パイナップルセージ					
	10月	11月	12月	1月	2月	10月	11月	12月	1月	2月	10月	11月	12月	1月	2月	10月	11月	12月	1月	2月	10月	11月	12月	1月	2月
1.樹勢	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	A	A	B	A	A
2.樹形	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	A	A	B	B	B
3.枝の伸長度	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	B	A	A	A	A	A	B	B	B	B	A	A	B	A	A
4.梢端・枝先の損傷	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	A	A	A	B	B
5.葉の形及び葉色	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	B	C	C	A	A	A	A	A

もに、処理水中の肥料成分の濃度がポイントをにぎる。対象とする植物にあった汚水かん水をつくる方法も検討していかなければいけないだろう。(例えば1次処理と2次処理の中間程度の処理として 1.5 次処理など、本報の方法はこれに近いと考えている。)

汚水処理が農産園芸と結びつき、新たな産業として創設されることを願いながら、この研究が発展していけば幸いに思う。

最後にこの事業に賛同いただいた共同研究メンバーへ感謝申し上げたい。

参考文献

- 1) 建設省都市局下水道公園緑地管理財団:都市緑化における下水汚泥の施用指針に関する調査報告書, 9-3 項 (1987)
- 2) 楠本 正康他 土壌による生活系排水の処理—地下灌漑法—, 公害と対策, Vol 18, No. 4, 69-77 (1982)
- 3) 楠本 正康他 土壌による生活系排水の処理—灌漑法—, 公害と対策, Vol 18, (6), 71-76 (1982)
- 4) 若月利之 シンポジウム (静岡, 土壌・植物系の浄化機能を活用した水環境修復 1997)
- 5) 平野浩二 花卉の水耕栽培による団地浄化槽二次処理水中の栄養塩除去, 資源対策技術 Vol31, No12, 49-58 (1995)
- 6) 相崎守弘 水生植物を使った池の浄化, 緑の読本シリーズ'23, 11-17 (1997)
- 7) 尾崎保夫 尾崎秀子 阿部薫 前田守弘:有用植物を用いた生活排水の資源循環型浄化システムの開発—排水中の窒素,リンを資源とした新たな取り組み—, 用水と廃水, Vol38, (12), 1032~1037 (1996)
- 8) 武末卓之:処理水の農業用水への利用、下水道協会誌, Vol 29, (337), 30 ~33 (1992)