

産業廃棄物等の高度利活用による省エネ型水質処理技術の開発

智田 俊雄* 小島 均* 鹿島 恭子* 井坂 昭雄*
平野 聡* 鈴木 一良** 荒川 治重** 小島 隆**

1. はじめに

霞ヶ浦の水質は様々な試みにかかわらず改善効果はないに等しく、年々悪化の一途をたどっているのが現状である。

水の浄化は対象とする水質によって浄化方法が異なり、対象とする水質に最適な処理法、処理システムを用いる必要があるが、既存の浄化装置では霞ヶ浦のように窒素・燐による富栄養化がすすんでいる閉鎖型湖沼には向いておらず、窒素・燐の除去能力に優れた、霞ヶ浦に最適な水質浄化システムの開発が必要である。

茨城水浄化技術研究会と茨城県工業技術センターは、霞ヶ浦に流入する小河川の水の浄化、特に窒素、リンの除去を目的とし、微生物や植物を活用した「多自然型」、「省エネ型」「ローコスト」の水浄化システムにより、BOD=10(mg/l)以下SS=10(mg/l)以下窒素除去率=50%以上リン除去率=50%以上を目標として実験を実施し、概ね達成できたのでその結果を報告する。

2. 実験の方法

2.1 実験施設の概要

1) 実験施設のフロー

実験には土浦市内を流れ、霞ヶ浦に流入する小河川の一つである新川の河川水を使用した。

実験施設のフローを図1に示す。新川から水中ポンプにより汲み上げた河川水は分配槽で等分し酸化地1及び2に流入させた。酸化地1、2の処理水は、混合槽で混ぜ合せ固定床接触酸化水路1、2、3に等水量で導入した。同様に固定床接触酸化水路1、2、3の処理水を混合槽で混合し、分配槽を通じて植生水路1、2、3に等水量で導入した。

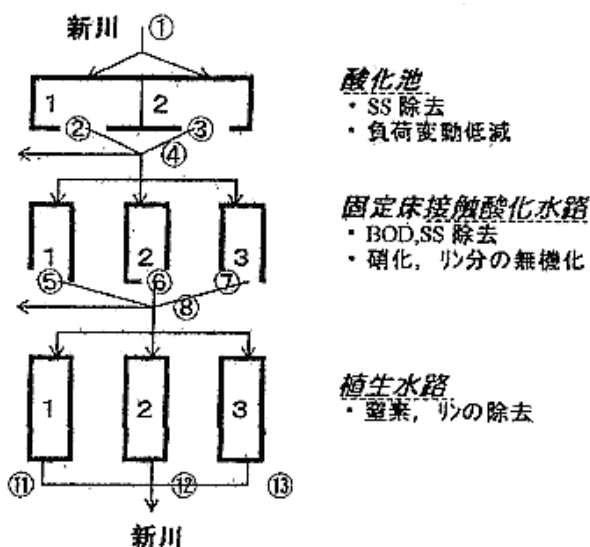


図1 実験施設フロー

酸化地への流入水量は、1回/週の頻度でメスシリンダーとストップウォッチにより計測した。固定床接触酸化水路1、2、3及び植生水路1、2、3の入口には、瞬間及び積算水量計を設置し1回/週の頻度で水量を計測した。

2) 酸化池

目的とした酸化池の役割は、SSを主にBOD、COD等の一部除去である。

酸化池の仕様は、縦50m×横11m×深さ0.5mで、処理水量は275(m³/day)、滞留時間は約1日である。酸化池1にはパピルス、ケナフなどを植えた筏を面積の1/4程度設置した。

3) 固定床接触酸化水路

固定床接触酸化水路では

①後段の植生水路で植物による窒素及びリンの除去を進めるためにOrgN及びNH₄-Nの硝化[org-N, NH₄-N→NO_x-N]及びOrgPの無機化[orgP→PO₄-P]

②BOD及びSSの除去(処理水質:10mg/l以下)を処理の目的とした。固定床接触酸化水路はコンクリート製のU字溝を使用し、産業廃棄物から製造した異なる微生物担体を設置した。接触酸化水路の仕様は、長さ20m×幅0.6m×有効水深0.4mで担体の充填割合は20%とし、担体の充填層は約1mで水路内に等間隔で4箇所設置した。酸素の供給は浄化槽用ブローラーを用い充填層の間で曝気して行い、空気倍率は約3倍とした。各水路は出口部を除き遮光せず藻類を自然に繁殖させた。処理水量は、各水路ともそれぞれ4.8

(m³/day)、滞留時間は約1日である。

4) 植生水路

植生水路は下記の項目の処理を目的とした。

①接触酸化水路で除去できなかったBOD、COD、SSの除去

②TN、TP除去

植生水路は、ゼオライトを充填したプラスチック製の籠に水路1はパピルス、水路2はケナフ 水路3はハープ類を植えた。また、水路1及び水路2は、平成10年11月より植生をクレソン及びセリに植え替え、また冬期の低温対策として、平成10年12月より植生水路をビニールハウスで覆い保温した。

植生水路の仕様は固定床接触酸化水路と同じくコンクリート製のU字溝を使用し長さ20m×幅0.6m×有効水深0.4mで植生籠は水路全面に設置した。処理水量は平成10年7月中は0.43(m³/day)で運転したが窒素及びリンの負荷が不足し植生の生育が思わしくなかったため処理水量を1.44(m³/day)に増加した。

2.2 実験の方法及び水質測定

前述の実験施設により新川河川水の処理を行い、酸化池、接触酸化水路及び植生水路におけるBOD、COD、SS、窒素及びリンの除去能力を検討した。

平成10年6月を予備運転期間とし施設の調整等を行った後、同年7月から平成11年3月までを間、下記に示す項目の測定を実験施設フロー図に示す測定点で原則として1週間に1回の頻度で行った。

全前実験期間を2ヶ月ごとのRUNに分け、データの解析はRUNごとに行った。

- RUN1：平成10年 7月から 8月
- RUN2：平成10年 9月から10月
- RUN3：平成10年11月から12月
- RUN4：平成11年 1月から 2月
- RUN5：平成11年 3月

水質の測定は下記には示す項目・方法により行った。

水温：ガラス温度計 pH, DO 電極法

透視度：JIS K0102 9.透視度

BOD：JIS K0102 21.生物化学酸素要求量

COD：JIS K0102 17. CODMn

SS：JIS K0102 4.1懸濁物質

TN：JIS K0102 45.2紫外線吸光度法

NH₄-N：JIS K0102 45.2 イオンクロマトグラフ法

NO_x-N：JIS K0102 43.2.5イオンクロマトグラフ法

TP：JIS K0102 46.3.1ペルオキソ二硫酸カリウム

分解法

PO₄-P：イオンクロマトグラフ法

3. 実験結果

3.1 原水の水質

表1に実験期間中の新川河川水（以後原水）のRUN別の水温、pH、DO、透視度を、図2にBOD、COD、SS、TN及びTPの測定結果を示す。

表4 新川河川水の水質（H10.7～H11.3）

項目	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5
水温（℃）	25.0	21.2	11.2	6.3	10.7
pH	7.2	7.8	7.4	7.3	7.6
DO（mg/l）	5.0	6.7	8.8	7.6	7.1
透視度（cm）	24.6	25.3	28.4	19.9	19.9

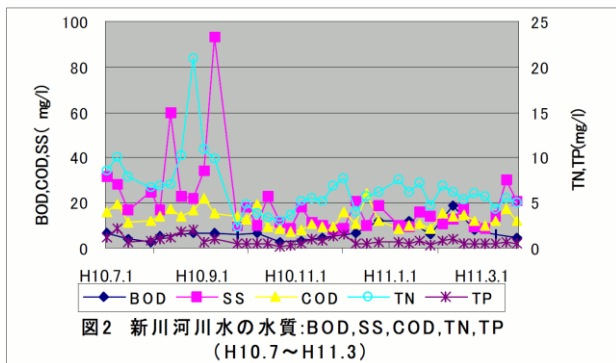


図2 新河川水の水質：BOD,SS, COD,TP (H10.7～H11.3)

水温は、RUN1～2は20℃台、RUN3と5は10℃台、RUN4では6℃あった。RUN3～RUN5は微生物の活動が低下すると考えられる。pHは7台で安定していた。

DOはRUN1～2では5～6(mg/l)、RUN3～5では7～9(mg/l)で酸化池入口での曝気の必要はなかった。透視度は20cm台で安定していた。

BODはRUN1～2に約5(mg/l)で、RUN3～5に5～11(mg/l)と増加傾向が見られたが、処理目標値の10(mg/l)をほぼ常時下回った。CODは12～15(mg/l)でほぼ安定していた。SSは変動が大きく、冬期に減少傾向が見られた。

TNはRUN1～2に約9(mg/l)、以後5～6(mg/l)であった。TPは冬期に向けて減少した。

3.2 酸化池の処理結果

BOD、SS、COD、TN及びTPの処理水質と除去率を図3-1-1～図3-5-2に、水温等を表2示す。

表2 酸化池1及び2の処理水水質（H10.7～H11.3）

項目	酸化池	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5
水温（℃）	1	25.9	21.2	10.6	5.3	11.1
	2	25.8	21.6	10.7	5.2	11.2
pH	1	8.6	8.0	7.0	7.5	8.2
	2	8.7	8.0	7.5	7.8	7.5
DO（mg/l）	1	9.1	4.3	7.5	6.6	8.3
	2	9.4	4.8	10.2	7.9	7.7
透視度（cm）	1	50<	43	42	31	22
	2	50<	39	30	21	21

各池はRUN1に海苔状の藻類、RUN2では浮き草が繁殖したがRUN3後半にはほぼ消失した。

各池とも水温は原水とほぼ同様の値であった。pH及びDOは池内に繁殖した藻類の影響で原水よりも高い値であった。透視度は実験の進行に伴い徐々に低下した。

酸化池1処理水のBODは2～8(mg/l) 除去率-35～60%、SSは3～22(mg/l) 除去率-20～90%、CODは9～15(mg/l) 除去率は-18～38%であった。TNは3～6(mg/l) 除去率は4～60%、TPは0.3～0.6(mg/l)除去率は16～60%であった。

酸化池2処理水のBODは3～14(mg/l) 除去率は-74～44%、SSは5～20(mg/l) 除去率は-53～80%、CODは11～15(mg/l) 除去率は-16～26%であった。TNは3～6(mg/l) 除去率は2～53%、TPは0.3～0.6(mg/l) 除去率は10～60%であった。

両酸化池とも、いずれの項目でもRUN1及び2では高い除去率を示したがRUN3～5では急激に悪化しほとんど除去できず、特にSSは溢流し（RUN3, 4）、特に酸化池2では顕著であった。これは、池内に沈降した污泥（沈殿したSSや死滅した藻類）が強い季節風により攪拌された水流によってまき上げられたためと考えられる。しかし、植生筏を設置した酸化池1ではこの現象がかなり抑えられた。また、両酸化池の処理性能を比べると、いずれの水質項目でも植生筏を設置した酸化池1が優れていた。

実験期間中に微生物処理に大きな影響を及ぼす水温の変化（平均水温がRUN3で15℃を下まわった）がRUN2とRUN3の間に起こり、これを境にして処理特性が変化したと考えられ、また、酸化池内の藻類変化が大きく影響していると推測され、RUN1及びRUN2で各水質項目の除去が進んだのは、酸化池内に繁殖した藻類による部分が大きいと考えられる。

3.3 固定床接触酸化水路の処理結果

固定床接触酸化水路に導入した酸化池処理水のBOD等の測定結果を表3に示す。

BOD, COD及びSSは実験期間後期に向け増加傾向であった。TNはRUN1, 2では3(mg/l)台であったがRUN3~5では4~6(mg/l)に増大した。TPは概ね0.3~0.6(mg/l)であった。

表3 酸化池処理水水質：BOD, SS, COD, 形態別N及びP (H10.7~H11.3)
単位 (mg/l)

	RUN1	RUN2	RUN4	RUN5
BOD	2.4	2.3	11.6	7.7
SS	10.2	8.8	12.4	16.0
COD	4.5	7.8	17.1	22.5
TN	3.48	3.32	6.14	4.78
NH ₄ +org-N	2.68	1.81	3.13	2.87
Nox-N	0.80	1.51	3.01	1.90
TP	0.44	0.27	0.64	0.45
org-P	0.20	0.21	0.46	0.43

BOD, COD, SS, TN及びTPの水路別の実験期間中の平均水質処理水質を表4に示す。各水路の処理水質はほぼ同じであるので、各水路の処理能力にはほとんど差異がないと考えられるので、固定床接触酸化水路の処理特性については水路3の結果で代表する。

表4 固定床接触酸化水路の処理水平均水質 (H10.7~H11.3) 単位 (mg/l)

項目	BOD	SS	COD	TN	TP
水路1	2.9	3.2	8.2	3.53	0.30
水路2	2.9	2.9	7.9	3.59	0.29
水路3	2.9	2.0	7.6	3.34	0.29

固定床接触酸化水路3の処理水水質と除去率を図4-1~図4-5に示す。

固定床接触酸化水路3処理水のBODは1~4(mg/l)除去率30~70%, SSは6~10(mg/l)除去率70~90%, CODは1~4(mg/l)除去率13~43%であった。処理水TNは2~5(mg/l)除去率は20~40%であった。TPは0.2~0.3(mg/l)除去率は20~50%であった。

硝化の指標として酸化池処理水のNO_x-N/TN比及び固定床接触酸化水路のNO_x-N/TN比とNO_x-N濃度を図4-6に示す。NO_x-N/TN比を比較すると固定床接触酸化水路のNO_x-N/TN比が実験期間を通じて酸化池処理水より高く、RUN4を除き酸化池処理水NO_x-Nを上回り、固定床接触酸化水路内で硝化が進行していたと考えられる。

同様にリンの無機化の指標として酸化池処理水のPO₄-P/TP比及び固定床接触酸化水路のPO₄-P/TP比とPO₄-P濃度を図4-8に示す。PO₄-P/TP比を比較すると固定床接触酸化水路のPO₄-P/TP比が実験期間を通じて酸化池処理水より高く、酸化池処理水PO₄-Pを上回り、固定床接触酸化水路内でリンの無機化が進行していたと考えられる。

今回の実験では固定床接触酸化水路内では担体に着いた微生物や水路内に繁殖した藻類、担体によるSSの濾過等複数の除去機構が平行して起こるため定量的な把握は困難で

あるが、定性的に硝化やリンの無機化が進行したと考えられ、植生水路での窒素・リンの除去の前処理として有効である。

3.4 植生水路の処理結果

植生水路に供給した固定床接触酸化水路処理水の水温等を表5に、BOD等の値を表6に示す。

表5 固定床接触酸化水路処理水の水質 (H10.7~H11.3)

項目	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5
水温(°C)	25.3	21.0	10.1	5.2	10.8
pH	9.0	8.5	7.7	7.7	8.0
DO(mg/l)	8.0	8.7	11.6	8.8	8.4
透視度(cm)	50<	50<	50<	41	26

水温はRUN1~2では20°C台、RUN3で10°C台からRUN4で約5°Cと低下した後RUN5で約10°Cとなった。pHはRUN1~2で8台がRUN3, RUN4で7台となった。DOは、実験期間を通じて概ね8(mg/l)以上であり、固定床接触酸化水路で十分にDOが供給されていれば、同処理水の再曝気の必要はないと考えられる。

表6 固定床接触酸化水路処理水水質：BOD, SS, COD, 形態別N及びP (H10.7~H11.3)

	RUN1-7	RUN1-8	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5
BOD	1.5	1.3	1.7	3.5	4.5	4.5
SS	1.0	3.9	0.8	1.6	4.5	9.1
COD	9.4	8.0	6.6	6.7	7.9	12.4
TN	1.99	3.39	2.54	4.35	5.05	3.63
NH ₄ +org-N	1.65	2.19	0.98	1.14	1.546	1.73
NO _x -N	0.34	1.20	1.31	3.21	3.48	1.89
TP	0.28	0.37	0.17	0.32	0.36	0.35
org-P	0.07	0.12	0.07	0.11	0.18	0.30
PO ₄ -P	0.21	0.25	0.10	0.21	0.18	0.05

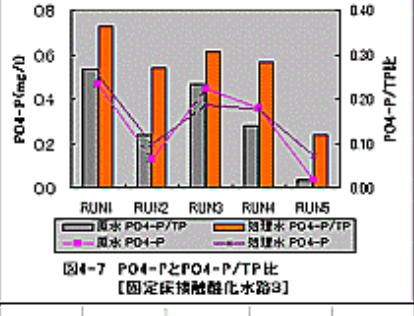
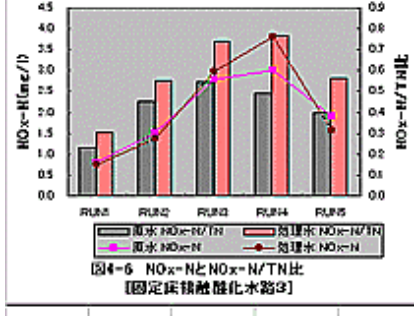
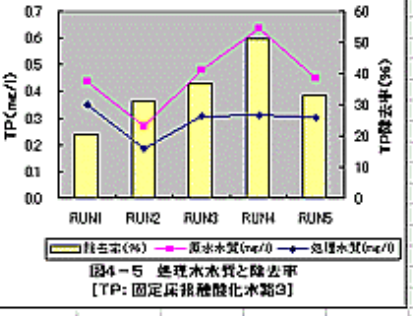
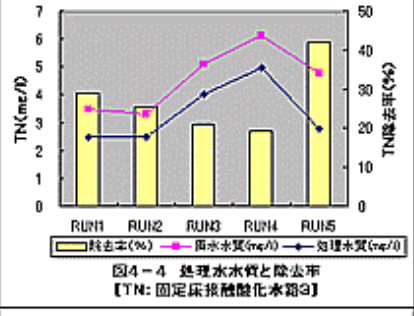
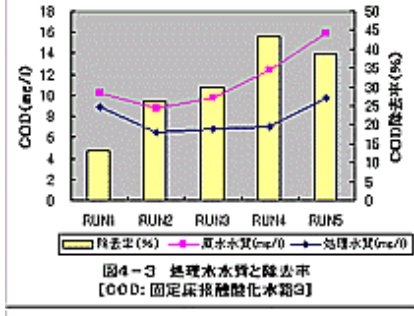
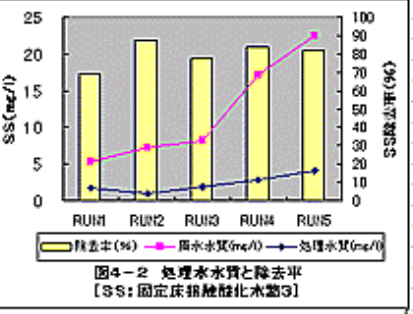
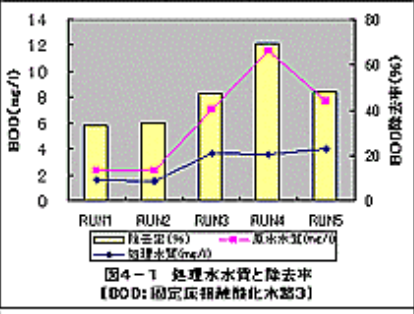
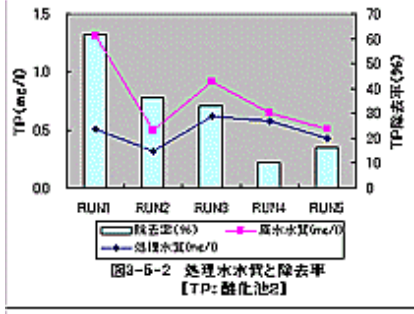
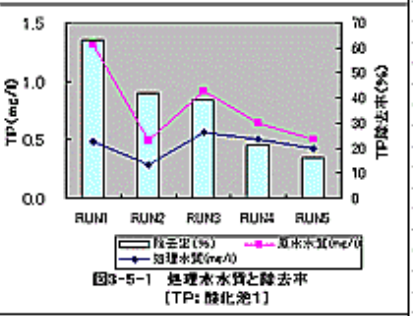
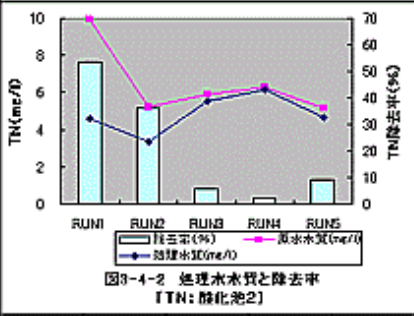
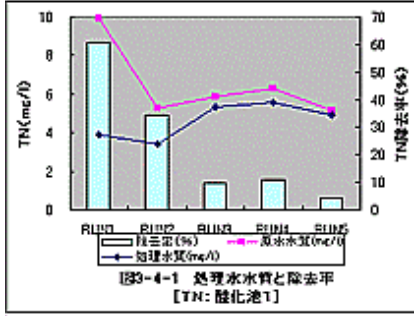
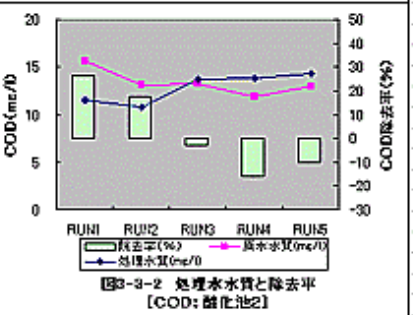
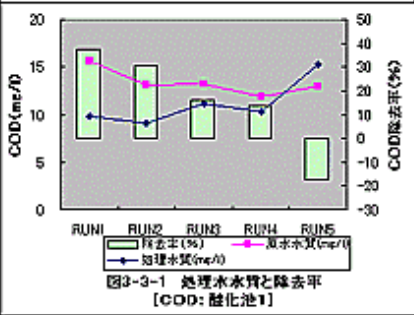
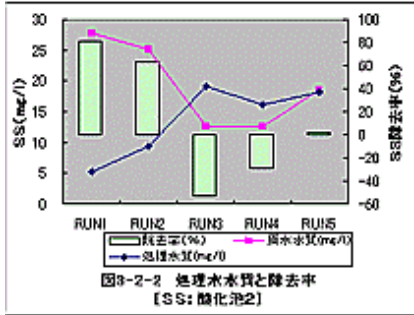
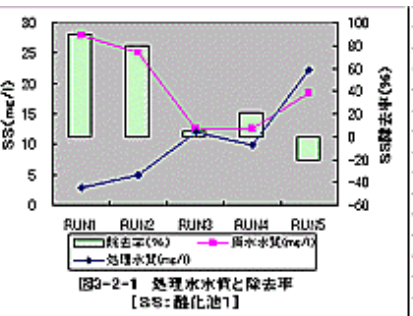
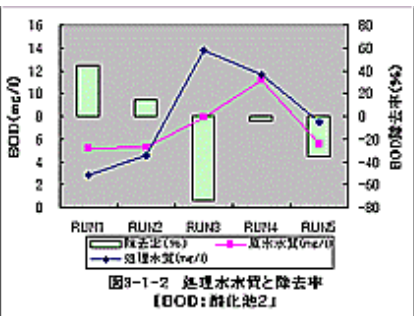
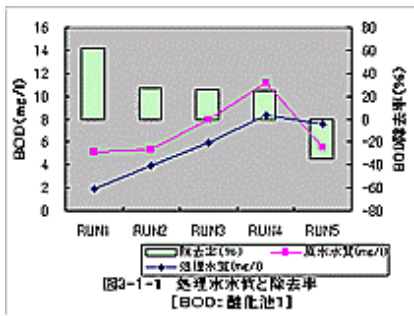
植生水路に供給した固定床接触酸化水路処理水のBODは1.5~4.5(mg/l)でRUN5に向かいやや増加傾向であった。SSは1~9(mg/l)、CODは7~12(mg/l)であった。TNは2~5(mg/l)で、植生水路で主に除去されるNO_x-Nは0.3~3.5(mg/l)であった。TPは0.17~0.37(mg/l)で、植生水路で主に除去されるPO₄-Pは0.05~0.25(mg/l)であった。

各植生水路のBOD, COD及びSSの処理水水質と除去率を図5-1-1~図5-3-3に示す。

処理水のBODは、各水路とも処理水質は実験期間を通じて1~2(mg/l)であった。同じくSSは1(mg/l)前後、CODは4~7(mg/l)であった。

BOD, COD及びSSの除去に関しては、各水路間の差異はほとんどないと考えられる。

また、植生の植え替えを行った植生水路1, 2のRUN2とRUN3間に処理水質及び除去率等の大きな変化はみられないので、BOD, COD, SSについては植替えの影響はほとんどないと思われる。



TN及びTPの水路別の処理水水質と除去率を図5-3-1～図5-3-3に示す。

植生水路1 処理水のTNは1～2(mg/l)除去率はRUN 1-7を除き16～77 (%)で、RUN 1-8に最大値を示した。TPは0.04～0.12(mg/l) 除去率は25～90 (%)であった。

植生水路2 処理水のTNは1～3(mg/l)除去率はRUN 1-7を除き35～65 (%)で、RUN 1-8に最大値を示した。TPは0.08～0.22(mg/l)除去率は20～80(%)であった。

植生水路3 処理水のTNは2～5(mg/l)除去率はRUN 1-7を除き40～60 (%), TPは0.07～0.27(mg/l) 除去率は40～75 (%)であった。

TN及びTP除去能力は植生水路1 がやや除去能力が高く、水路2, 3は同様の能力であった。

季節(水温, 気温)の影響は、TN除去能は植生の成長期であるRUN 1, 2に各水路ともピークを示し、水温(気温)が低下し始めるRUN 3以後は半減するが、TP除去能はTNほどの変化は見られなかった。

4. 考 察

実験施設全体の処理水水質と除去率を除去性能の高かった系[酸化池1→固定床接触酸化水路3→植生水路1]の実験結果から除去能の高いRUN 2と低い場合のRUN 4の実験結果を用いBOD, SS, CODの結果を図6-1～6-3にTN, TPを図6-4～6-5に示す。

BODは原水とした新川河川水のBOD濃度が5～10(mg/l)と低かったこともあり目標水質の10(mg/l)を下まわった。また、低濃度にも拘わらず約80%の除去率であった。SSは目標水質10(mg/l)を下回り、除去率も90%以上であった。CODは約5(mg/l)、除去率が60%であった。

TNは、水温が高く植物の生育が良いRUN 2では約80%の除去率であったが水温が低下し、また冬季のRUN 4では除去率は60%と低下した。

TPは水温が高く植物の生育が良いRUN 2、水温が10℃を割ったRUN 4とも約80%の高い除去率であった。

これらの事からBOD, COD, SS, TPについては、実験施設と同等の処理システムで新川河川水と同等の水質であれば当初の目標を満足できると考えられる。

また、TN除去能を向上させるためには植物が生育しにくい冬期の対策が必要である。

5. まとめ

酸化池は、池内に生育する藻類による浄化がかなりの割合を持つと考えられ、水温が大きく低下するRUN 2とRUN 3後半に各項目の除去能力が低下した。特にRUN 4ではSSの溢流が起こったが、植生筏を設置した酸化池1では酸化池2と比較しSSの溢流を抑制でき、他の実験期間での除去

能力が酸化池2と比較し酸化池と植生の併用の有効性を確認できた。

産業廃棄物を原料とした微生物担体を用いた固定床接触酸化水路は、硝化やリンの無機化が低水温期でも進行し、植生による窒素やリンの除去の前処理として有効であるばかりでなくTN/TPの除去能も持ち、簡易な処理ではあるが河川水等の低負荷水浄化に有効であることを確認した。

植生水路は、NO_x-N及びPO₄-Pの除去を主に考えたがBODやCODも除去でき、低負荷の河川水等の浄化に有効である。しかし、水温の変化(季節)の影響及び植生の種類により窒素・リンの除去能が変化し、年間を通じて安定した処理が難しいが、水路の保温や植物の選択・組み合わせを検討することでより効率的で安定した処理が可能であると考えられる。

今回の実験で効果の高いと考えられる組み合わせを下記に示す。

- 酸化池 : 酸化池1 植生筏付き
- 接触酸化水路: 水路②: チュラルテック製担体
③: JIK製担体(アクセラ)
- 植生水路 : 初夏から秋: パピルス又はケナフ,
初冬から冬: ハーブ, クレソン等

今回の実験で、[酸化池, 接触酸化水路, 植生水路]を組み合わせた多自然型の汚濁河川水浄化法が、TN/TPの除去だけではなくBODやCODの除去にも有効であることが判明した。

今後は今回の実験で取得した知見を基に実システムの開発に向け、メンテナンスやランニングコスト算出のための実証施設での実験を行う計画である。

謝 辞

この研究の実施に当たり懇切な御指導を頂いた筑波大学応用生物学系 松村正利教授, 同農林工学系 前川孝昭教授, 茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター三村信男教授 同工学部都市システム工学科 神子助教授, 農林水産省 農業研究センター 水質保全研究室 尾崎保夫室長 並びに新川実験場の使用をご許可くださいました建設省霞ヶ浦工事事務所様 ほか地域の皆様にこの場をお借りして感謝申し上げます。

[参考文献]

- 1) Journal of JSES Vol.23, No.1, 18～23(1997)
- 2) 担体利用処理法技術マニュアル1994年度版
(財)下水道新技術推進機構)
- 3) 最新高度水処理技術, (1999) (エヌ・ティー・エス)