

N-4

脱窒素膜分離活性汚泥法及び植物栽培池システムと 放流先河川の栄養塩濃度の比較

群馬工業高等専門学校・専攻科環境工学専攻 ○住谷敬太・青井透

1.はじめに

本研究室では、高崎市役所の協力を得て群馬県で最も歴史の古い城南下水処理場で5年以上の長期にわたり、膜分離活性汚泥実験プラントを運転しており、長期運転のノウハウや上流域での水循環について検討を続けている。膜分離活性汚泥に使用しているMF膜の孔径は $0.1\mu\text{m}$ であるが、膜に付着したバクテリアの吸着・過剰効果によりウィルス(大腸菌ファージを指標として使用)除去率は $5\log$ 以上であり、親水用水に使用できるレベルに低下していることは、木更津高専との共同研究により明らかになっている。膜分離処理水を親水用水に使用するためには、衛生上の安全性に加えて栄養塩の除去が必要であるが、膜分離活性汚泥の処理水濃度は無機態窒素で $4\sim 6\text{mg/l}$ 、オルトリン酸で $1\sim 2\text{mg/l}$ であり、利用過程での富栄養化防止のためには、無機態窒素 $<1\text{mg/l}$ ・オルトリン酸 $<0.2\text{mg/l}$ が望ましいと思われる。

この水質を得るために、膜分離活性汚泥処理水の一部を利用して滞留時間1日弱の植物栽培池を運転しているが、昨年度は成長速度の速いウォーターレタス(熱帯性浮標性植物)を使用して実験した。しかし環境への影響を考えると在来種の植物が望ましくことから、今年はセリを用いて栄養塩除去実験を行った。セリは寒さに強いが夏の暑さには弱いので、夏季実験の途中で暑さに強いミントに置き換えたが、今年の冷夏の影響でミントの生育は不順であった。そのため再度セリに交換して実験を継続している。

城南下水処理場の処理水は、烏川に放流されるが、烏川は錦川・神流川と合流した後、利根川に合流し流下後、利根大堰で分取され武蔵水路・荒川を經由して首都圏の主要な浄水場の原水として利用される。ところが本研究室の調査では、烏川の無機態窒素濃度(殆どは $\text{NO}_3\text{-N}$)は清澄な外観に比べて異例に高く放流地点(高崎市中心部)で 3mg/l 程度である。首都圏の水源を保全するためには、これ以上の窒素濃度上昇を防ぐ必要が有るが、そのためには下水処理施設放流水の窒素濃度を放流先河川と同等まで低下させる必要

表1 脱窒素型膜分離活性汚泥法プラント概要

名称	項目	膜モジュール
膜性状	運転期間	平成14年6月～
	膜形式	浸漬型中空糸MF膜
	膜材質	ポリエチレン製
	公称孔径	$0.1\mu\text{m}$
	膜面積	112m^2
運転方法	形状	縦型
	反応槽容量	嫌気好気循環型
		嫌気槽 好気槽
	滞留時間	5.0m^3 5.0m^3
	滞留時間	4時間 4時間
	処理水量	$28.8\text{m}^3/\text{day}$
	透過流速	$0.19\sim 0.3\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$
	ろ過方式	8分ろ過、2分停止(間欠)
	循環倍率	$100\sim 300\%$

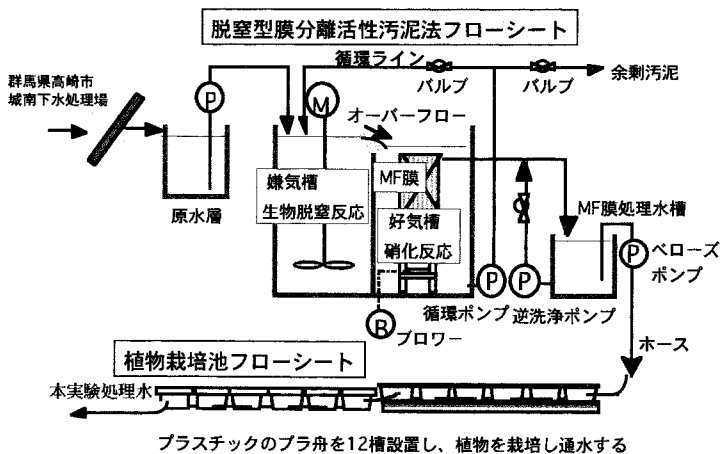


図1 膜分離パイロット及び水耕栽培池の全体フローシート

がある(希釈は期待できない)と思われる。そこで植物栽培池の処理水質と放流先河川水質の調査も実施し、その可能性についても検討した。

2. 実験装置

脱窒素型膜分離活性汚泥実験プラントの概要を表1に示し、植物栽培池と組み合わせたシステムを図1に示した。

膜分離活性汚泥反応槽は、嫌気槽と好気槽に分離されており、循環脱窒(循環率100~300%)を行っている。リンについては今年8月2日からモル比1.5でPACによる同時凝集脱リンを開始した。植物栽培池(水耕ベッド)の概要を表2に、また外観を写真1に示す。植物栽培池には膜分離処理水をペローズポンプにより連続的に送水している。

3. 結果及び考察

3-1 膜分離活性汚泥法の処理水質 膜分離活性汚泥法は安定した運転を継続しているが、同時凝集開始前後の処理水水質を表3及び表4に示した。無機態窒素濃度は4~5mg/lで推移しているが、PO₄-P濃度については、1mg/l以上の濃度が同時凝集開始後0.5mg/l程度に低減している。

3-2 セリを用いた水耕栽培処理水水質 セリを用いた植物栽培池の処理水質を同様に同時凝集開始前後に分けて表5、表6に示した。セリは高専内で栽培していたものを採取し移植した。6月から8月1日までの平均全セリ湿重量は58.5kg、9月12日から19日の平均湿重量は25.2kg、また含水率は90.5%であった。セリ生育量の違いと水質の関係を図4に示した。横軸は水耕ボックスNo.で示しているが滞留時間は15時間である。図中の栽培密度は投影面積当りの乾燥重量である。今年は冷夏であったので、平均気温は9月のほうが高温と思われるが、処理水レベル(0.5mg/lと1.8mg/l)の違いは植物量の関係と思われる。15時間での除去濃度はNとして3~5mg/lであった。セリ水耕栽培の処理水濃度は、6月から8月までの植物量の多いケースで無機態窒素0.54mg/l、PO₄-P(オルトリン)0.7mg/lの平均値であった。膜分離活性汚泥の同時凝集による脱リン運



写真1 植物栽培池概観(12槽直列)

表2 植物水耕栽培池概要

1~6槽 プランター寸法	
底寸法(cm)	42W*72L*20D
縁寸法(cm)	47.5W*79L
水深(cm)	16D
容積(l) 計	52.9*6槽=317
7~9槽 プランター寸法	
底寸法(cm)	42W*72L*20D
縁寸法(cm)	47.5W*79L
水深(cm)	13.5D
容積(l) 計	42.3*3槽=127
10~12槽 プランター寸法	
底寸法(cm)	41.5W*71L*20D
縁寸法(cm)	48W*77L
水深(cm)	13.5D
容積(l) 計	41.8*3槽=125
総容積(l)	570
流量(l/h)	37.2(定量ポンプ)
滞留時間(h)	570/37.2=15.3

表3 脱窒素型膜分離活性汚泥法処理水2003年水質データ(同時凝集前)

日時	Tw	pH	EC	Cl-	NH4-N	NO2-N	Nox-N	InorgN	PO4-P
	℃		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
6月10日	23.2	6.81	39.3	56	0.34	0.01	6.08	6.42	1.88
6月17日	23.8	6.97	33.9	46	0.36	0.01	3.12	3.48	1.08
6月25日	23.8	7.40	24.1	27	0.10	0.02	2.30	2.40	0.94
7月10日	22.0	7.52	33.0	37	0.34	0.04	4.46	4.80	0.76
7月17日	23.1	7.62	34.4	31	0.38	0.02	4.10	4.48	1.08
7月25日	24.0	6.85	31.8	27	0.18	0.02	4.68	4.86	0.81
8月1日	26.4	7.47	32.3	29	0.14	0.01	4.88	5.02	1.03
平均	23.8	7.23	32.7	36	0.26	0.02	4.23	4.49	1.08

注記: Nox-N=NO₂-N+NO₃-N, InorgN=NH₄-N+Nox-N

表4 脱窒素型膜分離活性汚泥法処理水データ(リン除去のため、PAC添加(同時凝集後))

日時	Tw	pH	EC	Cl-	NH4-N	NO2-N	Nox-N	InorgN	PO4-P
	℃		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
8月6日	28.7	7.67	35.2	41	0.38	0.02	4.24	4.62	0.48
8月19日	/	7.38	/	44	0.00	0.01	4.14	4.14	0.39
9月10日	28.1	7.26	34.9	56	0.40	0.03	3.90	4.30	1.42
9月17日	29.6	7.63	28.0	46	0.38	0.03	3.82	4.20	0.24
平均	28.8	7.49	32.7	47	0.29	0.02	4.03	4.32	0.63

表5 セリを用いた植物栽培池処理水2003年水質データ(同時凝集前)

日時	Tw	pH	EC	Cl-	NH4-N	NO2-N	Nox-N	InorgN	PO4-P
	℃		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
6月10日	21.2	6.56	36.6	64	0.26	0.02	0.34	0.60	0.39
6月25日	24.1	6.56	29.8	51	0.14	0.04	0.08	0.22	0.69
7月10日	21.7	6.85	32.6	51	0.32	0.08	0.64	0.96	0.61
7月17日	22.8	6.88	33.6	43	0.20	0.08	0.42	0.62	0.64
7月25日	24.5	6.48	31.6	38	0.30	0.01	0.20	0.50	0.87
8月1日	28.1	6.60	35.7	48	0.26	0.01	0.10	0.36	1.01
平均	23.7	6.66	33.3	49	0.25	0.04	0.30	0.54	0.70

表7 同じ調査期間の鳥川水質データ(放流口直前・処理水混合前)

日時	Tw	pH	EC	Cl-	NH4-N	NO2-N	Nox-N	InorgN	PO4-P
	℃		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
7月3日	/	7.85	34.2	32	0.30	0.04	2.70	3.00	0.18
7月10日	20.0	7.65	24.6	28	0.36	0.07	2.70	3.06	0.19
7月17日	20.7	7.81	23.0	20	0.26	0.06	2.82	3.08	0.22
7月25日	21.6	6.92	20.2	14	0.12	0.04	2.88	3.00	0.25
8月1日	24.2	7.66	23.2	18	0.16	0.03	2.90	3.06	0.33
8月6日	25.8	7.40	15.0	11	0.34	0.06	1.80	2.14	0.12
8月19日	20.8	7.60	16.8	13	0.00	0.03	3.30	3.30	0.11
9月10日	25.9	8.79	32.5	38	0.68	0.06	2.66	3.34	0.40
9月17日	26.8	8.60	28.8	37	0.20	0.04	2.72	2.92	0.21
平均	/	6.85	21.1	19	0.25	0.04	2.42	2.66	0.20

表6 セリを用いた植物栽培池処理水水質データ(同時凝集後)

日時	Tw	pH	EC	Cl-	NH4-N	NO2-N	Nox-N	InorgN	PO4-P
	℃		mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
9月10日	29.9	8.04	35.2	59	0.26	0.06	1.68	1.94	0.28
9月17日	31.0	10.08	26.1	66	0.42	0.04	1.40	1.82	0.05
平均	30.5	9.06	30.7	63	0.34	0.05	1.54	1.88	0.17

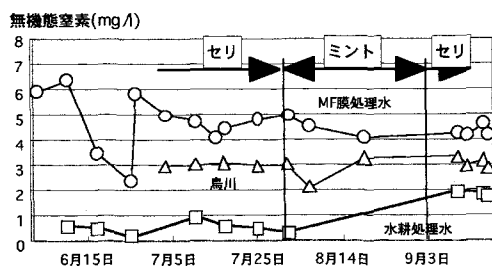


図2 MF膜処理水,水耕処理水,鳥川の
無機態窒素濃度経日変化

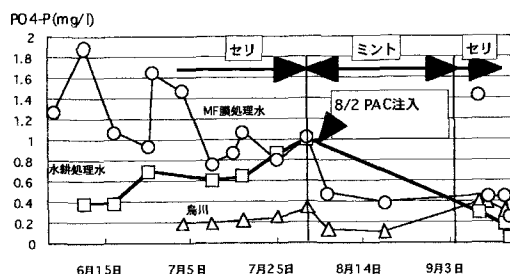


図3 MF膜処理水,水耕処理水,鳥川の
リン酸態リン濃度経日変化

転開始後は、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は0.17mg/lに低下した。

3-3 放流先鳥川水質との栄養塩濃度比較 MF膜処理水・水耕処理水と放流先鳥川の無機態窒素及び $\text{PO}_4\text{-P}$ を対比して図2,図3に示した。図2に示すように水耕処理水の窒素濃度は鳥川窒素濃度の1/3まで低減し、処理水が河川水を希釈する状態となった。一方リンについては河川水質より水耕処理水の濃度が高かったが同時凝集脱リン後の秋になってほぼ河川水水質と同等となった。

3-4 ウォーターレタスとセリの浄化能力比較 今年の植物栽培試験と昨年度の内容の違いは、使用する植物がウォーターレタスからセリに変わっただけであり、滞留時間や温度条件などはほぼ同様と考えられる。図5は昨年度実施したウォーターレタスの無機態窒素除去特性であるので、図4とそのまま比較ができる。横軸の滞留時間も同一である。図5の窒素濃度低減は4～5mg/lであるので、成長速度の遅いセリの窒素除去能力は、予想外に良好であった。

4. まとめ

下水処理水のN,P濃度レベルを、放流先河川レベルに低減する試みを膜分離活性汚泥と植物栽培池の組み合わせで実験し達成した。この処理水は衛生学的にも安全であるので、親水用水として利用が可能である。この用水を地域用水の水源として利用すれば、今はすっかり姿を消した黒メダカやトノサマカエルなどが成育する昔の小川が復元でき、子供たちの遊び場を提供できるのではないかな。

謝辞 本研究にあたり実験設備の運転では高崎市城南下水処理場の皆様及び前沢工業(株)手金殿に大変お世話になった。また大量の試料の栄養塩水質分析は、本研究室岸主任に実施頂いた。ここに記して厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 住谷敬太, 青井 透, 手金浩嗣, 鈴木辰彦(2003)脱窒型膜分離活性汚泥法と植物栽培池の組み合わせによる下水処理水の親水利用, 第40回下水道研究発表会講演集, pp691-693
- 青井 透, 池田正芳(2003)群馬県及び首都圏降雨中窒素濃度測定と河川水質に及ぼす影響, 第40回下水道研究発表会講演集, pp919-921
- 青井 透(2003)上流域からの視点で利根川の流域管理を考える, 水道公論, Vol.39, No.1, pp31-35
- 高橋通有, 高橋克夫, 上村繁樹, 高石斌夫, 青井 透, 大垣慎一郎(2003.7.22)膜分離活性汚泥法における指標微生物の除去特性, 第40回下水道研究発表会講演集, pp682-684-1083

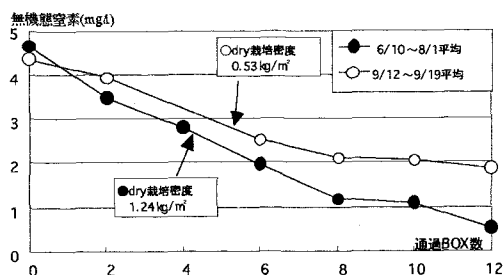


図4 植物(セリ)生育密度の違いによる
無機態窒素除去特性の変化

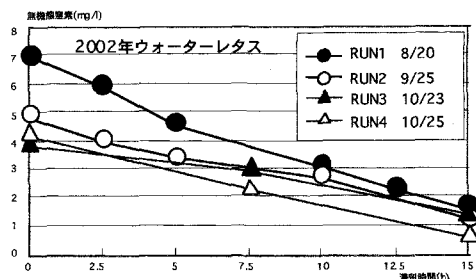


図5 ウォーターレタス水耕実験(昨年度)の
無機態窒素除去特性