

霞ヶ浦流域における下水高度処理について

柏 純 一

霞ヶ浦湖北流域下水道及び霞ヶ浦水郷流域下水道の終末処理場は、いずれも放流先が霞ヶ浦であるため、COD、窒素、りん等の除去を目的とした高度処理を行っている。このことにより、霞ヶ浦に流入する生活排水の汚濁負荷量は削減され、霞ヶ浦の水質保全の一助となっている。

キーワード：下水道、霞ヶ浦、水質保全、高度処理、担体投入型修正 Bardenpho 法

1. はじめに

霞ヶ浦流域にある霞ヶ浦湖北流域下水道および霞ヶ浦水郷流域下水道の2流域下水道は、霞ヶ浦の水質保全と地域住民の生活環境の向上をはかる目的で、流域から流入する生活系排水を主とする下水の処理を実施しており、霞ヶ浦湖北流域下水道が昭和54年、霞ヶ浦水郷流域下水道が昭和61年から供用を開始しているところである。

霞ヶ浦湖北流域下水道及び霞ヶ浦水郷流域下水道における処理場は、それぞれ霞ヶ浦浄化センター及び潮来浄化センターである。いずれの処理場も処理水を霞ヶ浦に放流しており、水質汚濁防止法に基づき排水基準を定める条例や霞ヶ浦水質保全条例などによる厳しい排水基準が適用されているため、高度処理を行っている。本稿では、これらの2流域下水道における高度処理の実態とその成果について述べる。

2. 霞ヶ浦の水質保全に係る取り組み

(1) 霞ヶ浦の緒言

茨城県の南部に位置する霞ヶ浦は、湖面積220km²と、琵琶湖について全国で第2位の面積を持つ湖である。各種の豊富な資源を埋蔵しており、歴史的・学術的な価値と自然環境に恵まれている。とりわけ水資源については、霞ヶ浦の周辺はもとより、都心から60km程度の至近距離に位置する優位性もあり、拡大発展する首都圏内の各地域開発にとっても極めて重要な役割を果たしている。

もともと海の一部であった霞ヶ浦は、水深が平均で4m、最大水深が7mと非常に浅く、また河川の最下

流に位置しているため、富栄養化しやすい状況にある湖である。

霞ヶ浦の水質の経年変化を図-1に示した。霞ヶ浦の水質は昭和40年代後半から富栄養化現象により水質の汚濁が進んだ。本県では、昭和60年度に湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼に指定されて以来、4期20年にわたる霞ヶ浦に係る水質保全計画を通して、下水道の整備や高度処理の推進等を含めた様々な施策を講じ、霞ヶ浦の水質保全につとめてきたが、現在まであてはめられた湖沼A類型の環境基準(COD 3mg/L)を達成できないなど、その水質については大幅な改善には至っていないのが現状である。

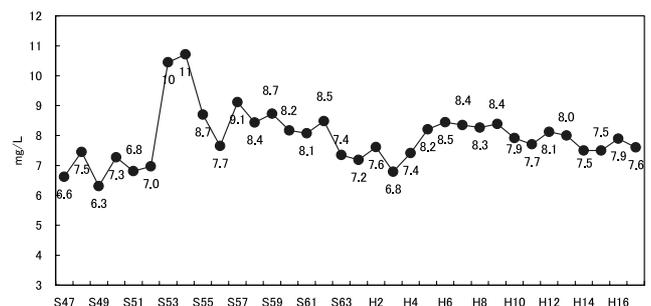


図-1 霞ヶ浦湖内のCODの推移

(2) 第5期霞ヶ浦水質保全計画の概要と下水道事業の位置づけ

本県では、これらの状況を鑑み、平成18年度に第5期の霞ヶ浦に係る水質保全計画を策定した。その主要内容を図-2に示した。

計画では、流域住民をはじめとした関係者の長期にわたる持続的な取り組みを必要とし、流域の生活排水対策や事業場排水対策、家畜対策、さらに農地・市街

長期ビジョン
「泳げる霞ヶ浦」「遊べる河川」
流域に住む方々が霞ヶ浦に親しみをもち、一人ひとりが身近な河川に目を向け、水質浄化を自らの役割と認識してもらうために「泳げる霞ヶ浦」「遊べる河川」としました。
長期ビジョンを実現するための施策の方針
例外なき汚濁負荷削減対策の実施
全ての住民、事業者、農業者が例外なく負荷量の削減に取り組むことを基本的な考えとし、次に掲げる施策の方針に沿って水質の改善を図ります。
①生活排水の未処理放流の解消 =“垂れ流し0”
②工場・事業場排水の未処理放流の解消 =“垂れ流し0”
③家畜排せつ物の全量の適切な処理・利用
④農地・市街地対策の重点的な実施(流出水対策地区の指定)
⑤～⑨ 省略
取り組む主な対策
①生活排水対策
・下水道の整備 普及率 53.5%(H17)→58.5%(H22) 接続率 85.7%(H17)→86.9%(H22)
・農業集落排水施設の整備
・高度処理型浄化槽の整備
・浄化槽の法定検査率の向上
②工場事業場対策
・排水基準が適用される排水量の引き下げ
・小規模事業場(排水量 10m ³ /日未満)に対する排水規制の強化
③畜産対策(家畜排泄物堆肥化施設の整備)
④農地・市街地対策
⑤～⑨ 省略

図-2 霞ヶ浦に係る水質保全計画(第5期)の概要(抜粋)

地等からの流出水対策等を進める等、全ての汚濁負荷源で例外なく汚濁負荷削減対策が実施されることを基本として、諸対策を講じることとしている。

生活排水対策としては、下水道普及率の向上などの施策を中心として一般家庭からの排水について「垂れ流しゼロ」を目指すことがうたわれている。また、工場・事業場対策としては、日平均排水量が10m³未満の場合においても排水基準を適用することや、今まで施設規模が小さいため未規制となっていた工場・事業場についても排水基準を適用するなど、規制の強化を図るとしている。そのため、下水道事業に係る対応として、茨城県流域下水道管理要綱を一部改訂し、流域下水道に接続する工場・事業場に対しても排水基準を強化したところである。

3. 霞ヶ浦浄化対策における下水道事業の取り組み

(1) 霞ヶ浦流域における下水道整備状況

霞ヶ浦への汚濁負荷量は、生活排水が大きな割合を占めているため、霞ヶ浦流域の下水道の整備には大きな重点が置かれている。霞ヶ浦流域における下水道の整備状況を表-1に示した。これら4つの処理場の

うち、霞ヶ浦常南流域下水道は利根川へ、小貝川東部流域下水道は小貝川へ系外放流し、霞ヶ浦湖北流域下水道及び霞ヶ浦水郷流域下水道の2流域下水道は、処理水を霞ヶ浦へ放流している状況である。

表-1 霞ヶ浦流域における下水道整備状況

	霞ヶ浦湖北流域下水道	霞ヶ浦水郷流域下水道	霞ヶ浦常南流域下水道	小貝川東部流域下水道
行政人口(人)	343,481	71,793	383,090	92,771
処理人口(人)	222,151	28,242	287,916	5,087
普及率(%)	64.7	39.3	75.2	5.5
関係市町村数	4市1町	2市	4市2町	4市
現有処理能力(m ³ /日)	89,000	11,230	175,000	3,600
処理水量(m ³ /日)	82,752	6,538	112,284	788
放流先	霞ヶ浦	霞ヶ浦	利根川	小貝川

霞ヶ浦へ放流している2流域下水道では、高度処理を実施している。一般的に普及している下水処理方法は標準活性汚泥処理法であるが、BOD、SSなどの処理水質のさらなる向上や窒素、りん除去などを目的に標準活性汚泥法に加えて特別に処理方式を設けたものを高度処理といい、水環境の改善に大きく寄与するものである。

以下にそれぞれの流域下水道の概要とそこで実施されている高度処理について述べる。

(2) 霞ヶ浦湖北流域下水道の概要と高度処理法

(a) 概要

霞ヶ浦湖北流域下水道は、昭和49年に事業計画が立てられ、昭和54年から供用開始されている。計画処理水量は250,000m³/日である。霞ヶ浦湖北流域下水道における終末処理場である霞ヶ浦浄化センターでは、平成4年度に89,000m³/日の処理能力を有するようになり、現在に至っている。平成17年度の実績としては、土浦市、石岡市、かすみがうら市、小美玉市、阿見町の5市町から平均82,752m³/日の下水を受け入れており、下水道普及率は64.7%となっている。

(b) 高度処理施設の概要

霞ヶ浦浄化センターでは、表-2のとおり4処理法12池により高度処理を行っている。またこれらの処理を行った後、さらに急速ろ過を実施することにより、処理水質の向上に努めている。

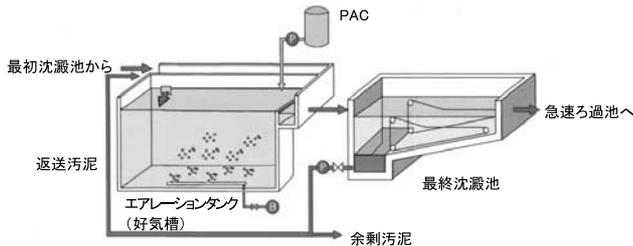
以下にそれぞれの施設の概要を示す。

①凝集剤添加活性汚泥法

本法の模式図を図-3に示す。ここでは、凝集剤を用いたりんの化学的除去を行っている。

表一 霞ヶ浦浄化センターにおける各水処理系の処理能力と運転方法

水処理系列	処理能力(m ³ /日)	生物反応槽運転方式
No.1 池	14,000	凝集剤添加活性汚泥法
No.2 ~ 3 池	各 7,000	嫌気—無酸素—好気法(A ₂ O 法)
No.4 池	9,000	担体投入型修正 Bardenpho 法
No.5 ~ 12 池	各 6,500	凝集剤併用型循環式硝化脱窒法
計	89,000	

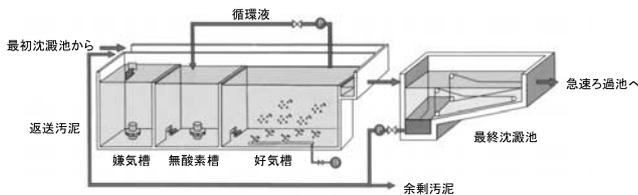


図一 凝集剤添加活性汚泥法の処理設備

この処理法における生物反応槽は1つである。下水中のりんは、活性汚泥と混合・曝気され、りん酸イオンに変化する。これに凝集剤としてポリ塩化アルミニウム (PAC) を添加し、りん酸アルミニウムとして沈降させることにより処理水中のりん濃度を低減させることができる。また、この沈殿物は余剰汚泥とともに引き抜かれ、汚泥処理施設において処理されている。

②嫌気—無酸素—好気法 (A₂O 法)

本法の模式図を図一4に示す。ここでは、生物学的な窒素及びりんの除去を行っている。



図一 嫌気—無酸素—好気法の処理設備

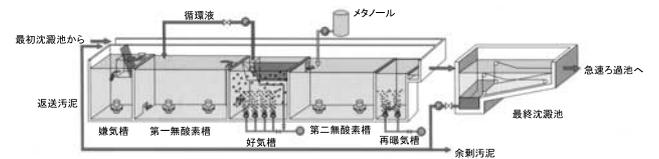
この処理法における生物反応槽は、嫌気槽、無酸素槽及び好気槽に分かれている。嫌気槽及び無酸素槽は水中攪拌機により攪拌され、好気槽は曝気されている。また、好気槽から無酸素槽に活性汚泥混合液を循環させている。

下水中の有機態窒素やアンモニウムイオンは、好気槽において活性汚泥と混合・曝気されると、硝化菌による硝化が起こり、硝酸イオンに変換される。その後、この硝酸イオンを含んだ活性汚泥混合液を無酸素槽に循環させると、脱窒作用により硝酸イオンは窒素ガスに変換され空气中に拡散し、その結果処理水中の窒素濃度を低減させることができる。

また、りんについては、ポリりん酸蓄積菌を利用した除去を行っている。このポリりん酸蓄積菌は、嫌気状態では体内のポリりん酸をりん酸として排出するが、酸素が利用できる状態に戻されると、排出した量以上のりん酸を再び取り込める性質を持つ菌である。この処理法における嫌気—無酸素—好気のステップにおいてポリりん酸蓄積菌は下水中のりんを蓄積し、汚泥として引き抜かれることにより処理水中のりん濃度を低減させている。

③担体投入型修正 Bardenpho 法

本法の模式図を図一5に示す。ここでは窒素及びりんの生物学的除去を実施している。

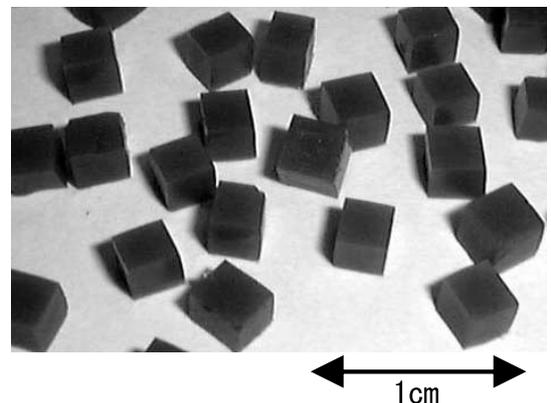


図一 担体投入型修正 Bardenpho 法の処理設備

この処理法は前述の A₂O 法の後段に、第二無酸素槽及び再曝気槽を設け、更に好気槽に担体を投入したものである。

生物学的処理法を用いて下水処理時間の短縮や処理水質向上を目指すためには、生物反応槽内の微生物濃度を高めるとともに滞留時間を増加させ、有用微生物を反応槽に保持することが必要であるが、従来の活性汚泥法では汚泥高濃度化には限界がある。そこで本県では、平成7年から(財)下水道新技術推進機構と共同研究を実施し、平成9年度から11年度にかけて、担体投入型修正 Bardenpho 法についてパイロットプラントにより処理能力の検討を行った。平成14年度には実処理施設を改造し、同法を用いた高効率窒素・りん除去施設として稼働させているところである。

なお、使用している担体は図一6に示すような



図一 包括固定担体

3 mm 角の包括固定担体である。この担体はポリエチレングリコール製であり、硝化菌を高濃度に含んでいる。

流入下水中の窒素は、活性汚泥及び担体中の硝化菌が曝気した空気中の酸素を用いて硝化を行い、硝酸態窒素に変換する。この硝酸態窒素は、循環液として送られる第一無酸素槽や、好気槽からの流出先である第二無酸素槽において脱窒され、処理水中の窒素濃度の低減に寄与している。

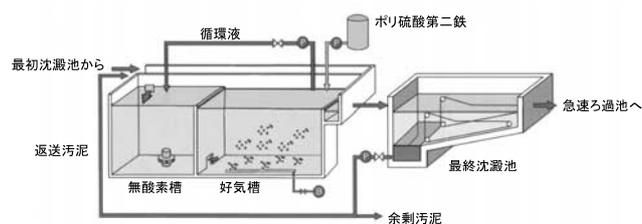
なお、水温が低くなる冬季や脱窒活性が低い場合は第二無酸素槽にメタノールを添加し、脱窒速度を高める措置が必要となる。第二無酸素槽で残存したメタノールについては、再曝気槽において酸化し、除去するしくみをとっている。

また、りんについては、A₂O 法と同様ポリりん酸蓄積菌のりん蓄積作用により除去を行っている。

④凝集剤併用型循環式硝化脱窒法

本法の模式図を図一七に示す。ここでは窒素については生物学的除去、りんについては化学的除去を行っている。

生物反応槽は、無酸素槽と好気槽に分かれている。無酸素槽は水中攪拌機で攪拌され、好気槽は曝気されている。好気槽から無酸素槽に活性汚泥を含む混合液



図一七 凝集剤併用型循環式硝化脱窒法の処理設備

を循環しており、流入下水中の窒素を硝化脱窒作用により除去している。また、好気槽の末端部にポリ硫酸第二鉄を凝集剤として添加し、化学的にりんを除去を行っている。

(c) 水質 (BOD, COD, SS, T-N, T-P) について

平成 17 年度における各高度処理方式における最終沈殿池出口水の水質を、流入水及び放流水の水質と合わせて表一三に示した。

放流水では、BOD が 0.5 mg/L、COD が 5.7 mg/L、SS が 1 mg/L 未満、T-N が 6.18 mg/L、T-P が 0.21 mg/L であり、全て水質基準を大きく下回る良好な処理水質を示していた。

また、放流水における各水質項目の除去率について比較すると、T-N については 80.4% の除去率であったが、それ以外の水質項目における除去率は 90% 以上であった。

各処理系列における各水質項目の除去率について比較した。BOD、COD 及び SS については、各処理法での除去率に大きな違いは見られず、BOD は 99.1 ~ 99.6%、COD は 92.4 ~ 93.7%、SS は 99.4 ~ 97.9% であった。窒素については、担体投入型修正 Bardenpho 法が除去率 89.2% と最も高く、T-N についての除去処理がなされていない凝集剤添加活性汚泥法における除去率は 67.8% であった。また T-P については凝集剤を添加しない A₂O 法が 90.7% と他の処理法 (95.0 ~ 95.4%) よりも若干除去率が低かった。

(3) 霞ヶ浦水郷流域下水道の概要とその高度処理法

(a) 概要

霞ヶ浦水郷流域下水道は、昭和 57 年度に事業が計

表一三 霞ヶ浦浄化センターにおける処理法別水質概要 (平成 17 年度)

分析項目	流入水	最初沈殿池入口	最初沈殿池出口	最終沈殿池出口				ろ過水	放流水	基準値 (日最大)
				凝集剤添加活性汚泥法 (1池)	嫌気—無酸素—好気法 (2, 3池)	担体投入型修正 Bardenpho 法 (4池)	凝集剤併用型循環式硝化脱窒法 (5~12池)			
BOD (mg/L)	163	157	82.2	1.4	1.5	1.1	0.6	< 0.5	0.5	—
(%)				99.2	99.1	99.3	99.6	99.7	99.7	
COD (mg/L)	92.8	82.9	45.1	6.2	7.1	6.5	5.9	5.4	5.7	20
(%)				93.3	92.4	93.0	93.7	94.1	93.9	
SS (mg/L)	169	173	43.1	3.5	2.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	20
(%)				97.9	98.8	99.4	99.4	99.4	99.4	
T - N (mg/L)	31.5	22.4	19.8	10.1	5.85	3.21	5.64	6.27	6.18	20
(%)				67.8	81.4	89.8	82.1	80.1	80.4	
T - P (mg/L)	3.38	2.85	2.17	0.17	0.31	0.16	0.16	0.22	0.21	1
(%)				95.0	90.7	95.4	95.3	93.4	93.9	

* 上段は分析値、下段は流入水に対する除去率

画され、昭和61年度から供用開始されている。水郷流域下水道の計画処理水量は16,600 m³/日である。水郷流域下水道の終末処理場である潮来浄化センターでの現在の処理能力は11,230 m³/日である。平成17年度の実績としては、潮来市、行方市の2市から6,538 m³/日の下水を受け入れており、下水道普及率は39.3%となっている。

(b) 高度処理施設の概要

潮来浄化センターは、3系列8池の施設を持っているが、全系列についてA₂O法に凝集剤を添加する運転を行うとともに、急速ろ過処理を行い窒素・りん等を除去する高度処理を実施している。

(c) 水質 (BOD, COD, SS, T-N, T-P) について

平成17年度における流入水及び放流水の水質概要を表一4に示した。

表一4 潮来浄化センターにおける水質概要 (平成17年度)

分析項目	流入水	放流水	基準値(日最大)
BOD (mg/L)	159	< 0.5	—
(%)		99.8	
COD (mg/L)	91.3	4.7	20
(%)		94.8	
SS (mg/L)	125	< 1.0	20
(%)		99.6	
T-N (mg/L)	40.0	7.31	20
(%)		81.6	
T-P (mg/L)	4.13	0.07	1
(%)		98.2	

*上段は分析値、下段は流入水に対する除去率

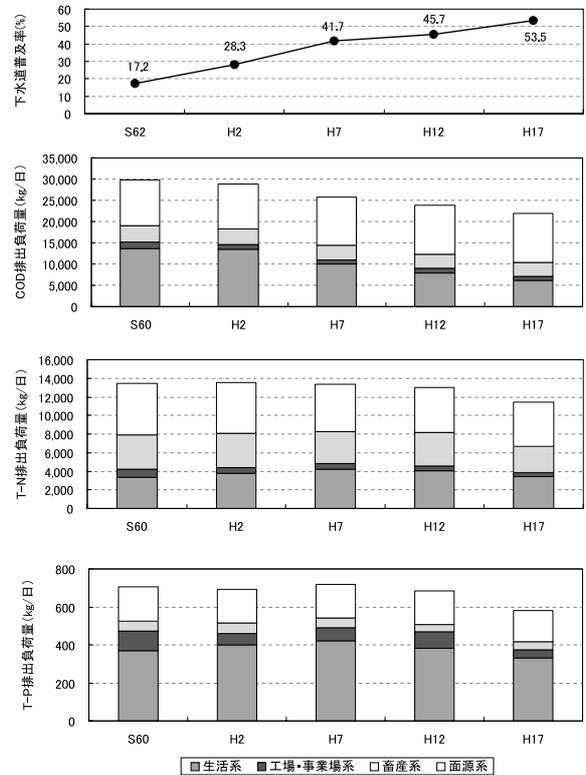
放流水の水質は、BODが0.5 mg/L未満、CODが4.7 mg/L、SSが1 mg/L未満、T-Nが7.31 mg/L、T-Pが0.07 mg/Lであり、全て水質基準を大きく下回る良好な処理水質を示していた。

また、放流水における各水質項目の除去率について比較すると、T-Nについては81.6%の除去率であったが、それ以外の水質項目における除去率はそれぞれBODが99.8%、CODが94.8%、SSが99.6%、T-Pが98.2%と90%以上の除去率を示していた。

(4) 流域下水道による霞ヶ浦の水質浄化への成果

図一8に霞ヶ浦流域からの排出負荷量の経年変化を流域の下水道普及率と併せて示した。

霞ヶ浦流域における下水道普及率は昭和62年度には17.2%であったものが平成17年度には53.5%と大幅に増加した。これら下水道整備等を中心とした対策の結果、昭和60年度には13,630 t/日あったCOD排出



図一8 霞ヶ浦流域における排出負荷量と下水道普及率の推移

負荷量は平成17年には6,225 t/日に削減された。また、T-N及びT-P排出負荷量は、平成7年度にT-N排出負荷量が4,221 t/日、T-P排出負荷量が421 t/日であったものが、平成17年度にはそれぞれ3,465 t/日及び332 t/日と削減されている。このことから、霞ヶ浦への流入負荷量は確実に減少していることが分かる。

4. おわりに

霞ヶ浦の美しい景観や自然は、筑波山とともに水郷筑波国定公園として多くの人々に親しまれている。この豊かな水や美しい自然を県民の財産とし、子孫へ引き継いでいくことは茨城県としての大きな使命であり、下水道事業は、それに対して大きな役割を担っている。今後もより良い高度処理や運転手法の開発に力を入れ、霞ヶ浦流域の自然の輝きを取り戻す一助になりたいと考えている。

JCMA

[筆者紹介]

柏 純一 (かしわ じゅんいち)
茨城県
霞ヶ浦流域下水道事務所
所長

