特集

琵琶湖の生態系と水質の改善

琵琶湖流域下水道における処理の高度化

瓜生 昌弘*

キーワード：高度処理、超高度処理、活性汚泥循環変法、ステップ流入式多段硝化脱窒法、同時凝集法

1. はじめに¹⁾

滋賀県の下水道は、図-1および表1に示す通り琵琶湖流域下水道と6カ所の単独公共下水道で構成され、計画上の面積や人口、処理水量はいずれも90%以上が流域下水道が分担しており、流域下水道を中心にして整備する計画である。

4つの処理区で構成する琵琶湖流域下水道は次の3つの特徴を有している。第一の特徴は、急速な整備がすすめられてきたことであり、昭和57年に湖南中部処理区を供用開始して以降、昭和59年に湖西処理区、平成3年に東北部処理区、そして平成9年に高島処理区と順次供用開始し、平成17年度末の普及率は80.3%に至っている。昭和56年度末の普及率が4.8%と、全国の下位に低迷していた時期と比べると、現在は全国第7位であり、この二十数年間の下水道整備の進展は驚異的とも言われている。こうした急速な下水道整備は、県民の強い要望を背景にしつつ、流域下水道整備が琵琶湖の水質保全上、最重要の施策として位置づけられたことが原動力となっている。

第二の特徴は、当初から窒素、リン除去のための高度処理を実施していることである。直接的な契機は、湖南中部浄化センター供用開始の3年前の昭和54年に富栄養化防止条例が施行され、窒素、リンの排水規制を受けることになったこと

であるが、昭和49年度から高度処理に関する技術開発調査を実施しており、その成果が適用されたといえる。また、湖南中部浄化センターの供用開始以降も処理レベルの向上、処理の効率化にむけた調査を実施し、その成果を適用している。

図-1 滋賀県の下水道計画区域

Improvement of advanced treatment methods in Lake Biwa basin-wide sewerage system

*滋賀県琵琶湖環境部下水道課 Masahiro Uriu

表1 滋賀県の下水道計画概要

区 分	処理区	琵琶湖流域下水道					公共下水道 6ヵ所計	流域比率 %
		湖南中部	湖 西	東北部	高 島	流域計		
計画処理面積 (ha)		29,227	3,540	13,645	2,440	48,852	2,542	95.1%
計画処理人口 (千人)		878	149	396	51	1,474	140	91.3%
計画処理水量 (千 m^3 /日)		788	117	371	39	1,315	115	92.0%

第三の特徴は、発生汚泥のほぼ全量有効利用を図っていることである。溶融スラグの建設資材としての利用、炭化汚泥の脱水助剤としての利用、脱水ケーキのコンポスト原料としての利用等であり、汚泥の有効利用が下水の高度処理を支えているといえる。

本稿では以上の特徴のうち、第二の高度処理に焦点をあて、この間の経緯や今後の方向性につい

て論述する。

2. 高度処理技術の開発調査の経緯²⁾

琵琶湖流域下水道では、その時々課題を設定し、高度処理の効率化、処理レベル向上をめざした調査が行われており、その調査結果は各浄化センターの実施計画に反映されている。表2は、その経過を整理したものである。

表2 高度処理に関する調査経過

期 間	調査名	概 要	調査結果の適用
S49～53	高度処理技術の開発調査	N,P,SS、有機物に関する高度処理技術について、パイロットプラントにより調査を行い設計技術資料のとりまとめを行った。	実施可能な高度処理技術の抽出
S53～55	実施設計基本調査	工場排水の質（生分解性）、量に関する調査を実施し、活性汚泥法で対応可能かどうか評価した。	循環法等で対応可能なことを確認
S54	琵琶湖流域下水道における三次処理	5年間の調査をとりまとめ琵琶湖流域下水道における高度処理基本方針を策定した。	循環法、凝集沈殿、砂ろ過を採用
S55～56	循環式窒素除去プロセスの運転管理に関する技術調査	実施規模による循環法の調査を行い、運転管理上の課題をとりまとめた。	維持管理へ反映
S57～58	高度処理実施設計のための基本調査	生物脱リンと窒素除去を組み合わせた A_2O 法について、実施規模で調査し設計および運転管理上の課題を整理した。	現場の運用で生物脱リンを導入
S61	高度処理汚泥プロセスの技術調査	①実際に導入していた同時凝集法を汚泥処理の面から改めて評価。②高度処理の面から汚泥消化方式を評価。③脱水、焼却溶融プロセスの評価。	事業認可計画で凝集沈殿および消化を計画廃止
S61～H2	高度処理プロセス最適設計に関する調査	エアリフト循環に関する検討	省エネ手法としての有効性を確認
S62～63	高度処理における汚泥処理返流水に関する技術調査	溶融炉排水の硝化・脱窒への影響検討	溶融の排水は特に支障がないことを確認
H9～12	超高度処理に関する調査	多段脱窒法、凝集剤の二段添加法、オゾンおよび生物活性炭処理によるN,P,CODの目標水質達成可能性を検討	ステップ多段は増設、改築に適用
H13～16	膜分離活性汚泥法に関する調査	琵琶湖流域下水道への適用性に関する検討	有効性を確認
H16～17	活性汚泥モデル適用調査	運転管理の効率化および多段脱窒法の最適設計に向けたモデル適用検討	薬品費、電気代等の削減可能性が示唆された
H16～17	超高度処理実証調査	実施規模でのオゾン、生物活性炭の維持管理性等について検討	調査継続

調査内容を大別すると次の4段階に分類できる。

まず、第一は、昭和54年度までの湖南中部浄化センターに導入する高度処理方式選択段階である。県では将来の高度処理導入を想定して、昭和49年度から技術開発調査を実施していたものの、昭和53年度から建設に着手した湖南中部浄化センターの初期施設は標準活性汚泥法（以下、標準法という）の処理施設であった。そのため、昭和54年の富栄養化防止条例の制定により、窒素、リン除去の高度処理への計画変更を求められることとなり、それまでの高度処理に関する調査結果をとりまとめ、導入する方式として活性汚泥循環変法（以下、循環法という）、凝集沈殿法、急速ろ過法が選定され、標準法の土木構造物を循環法へ改造することにより対応することとした。ただし、このうち凝集沈殿池は、実際には建設せず、ポリ塩化アルミニウム（PAC）を生物反応槽の末端に添加する同時凝集法で対応することとし、その後、同法の実績をふまえ凝集剤添加活性汚泥循環変法として計画変更を行った。

第二は、昭和55年度からの循環法の維持管理性および生物脱リン等のバリエーションに関する調査の段階である。実施設では、凝集剤としてのPAC添加量の削減をめざしてA₂O法による運転が一部で行われている。

第三は、平成9年度からの「超高度処理」に関する調査の段階である。これは、初期の高度処理の処理レベルを窒素、リン、CODの3つの項目について、それぞれ3mg/ℓ、0.02mg/ℓ、3mg/ℓへとさらに引き上げることをめざして行われた調査であり、県の琵琶湖の総合保全計画（マザーレイク21）に対応するものである。平成12年度までの調査結果をふまえて、窒素除去の処理レベル向上をめざしたステップ流入式多段硝化脱窒法が新規増設や改築更新において導入されている。

そして現在は、第四段階ともいえる時期であり、

CODに関する処理レベル向上に向けてオゾン・生物活性炭の実施設規模での調査を実施している。

3. 琵琶湖流域下水道における高度処理の現状

3.1 窒素の処理レベルの高度化

処理レベルの高度化をめざした対象3項目のうち、窒素の高度化が最初に実現した。

これは、前述のとおり平成9年度から12年度に実施した調査をふまえて多段脱窒法と従来法の循環法との比較において導入されることとなったものである。すなわち、図-2に示す循環法は、標準活性汚泥法の延長線上の技術として、同法の施設を転用することができる他、流入有機物を脱窒に使うことができること、また脱窒過程でアルカリ度が生成されるため、硝化過程でのpH調整が不要または少なくてすむという利点がある。その反面、窒素除去率は循環率によって制約を受け70%程度にとどまり、窒素の放流負荷量の削減という点からは一層の改善が求められていた。このため、2段あるいは3段で内部循環を行う方法等が開発されてきた。ステップ流入式多段硝化脱窒法（以下、多段脱窒法という）は、各種の生物学的硝化脱窒法のなかで設計や維持管理の容易さといった見地から構造や運転条件を最適化したものとして評価される。

図-3に本県で導入している後脱窒を行う多段脱窒法のフローを示し、表3にいくつかの指標について循環法との比較を示す。

多段脱窒法の特徴を列記すると以下のとおりである³⁾。

- 1) 脱窒-硝化工程を多段化しているため、内部循環を行わなくても高い窒素除去率が得られる。本県の場合、後脱窒方式を導入しており、95～98%という高い窒素除去率が得られている。
- 2) 流入水をステップ流入させることから、上流の段ほど固形物濃度が高くなるため、最終段の固

図-2 循環法

図-3 多段脱窒法

形物濃度に比較してタンク全体の平均固形物濃度が高くなり、反応タンク容量を縮小できる。本県の場合、後脱窒および再曝気槽を設置しているが、循環法とほぼ同程度の総容量となっている。

- 3) 各段の固形物あたりの負荷が均一化され、総風量等各段を同等の運転条件で管理できる。
- 4) リン除去については、循環法と同様、同時凝集法により対応が可能である。
- 5) 建設費、維持管理費は循環法と同程度以下となる。

3.2 琵琶湖流域下水道における処理の現況

現在、琵琶湖流域下水道では、表4に示すとおり循環法と多段脱窒法とが混在しており、処理能力ベースで3割弱が多段脱窒法へと高度化が完了

した状況にある。また、表5は循環法と多段脱窒法の系列それぞれの処理状況を示したものであるが、特徴をまとめると以下のとおりである。

- 1) BOD、SSについては、検出限界付近までの処理が行われている。
- 2) CODは生物処理の限界付近までの処理が行われている。
- 3) T-Nは循環法系列では70～80%程度の除去率であるのに対し、多段脱窒系列は前述のとおり20ポイント程度高い除去率が得られている。
- 4) T-Pについては、凝集剤の二段添加により処理レベルの高度化を志向してきたが、単段添加で目標に近い処理水が得られている。

3.3 高度処理費用

高度処理の実施にあたっては、建設や維持管理の財源をどうするか、言い換えれば費用を誰が負担するかが大きな課題である。高度処理施設の建設費は、通常の下水処理施設と同様、国庫補助を得ながら、建設費総額と国庫補助金との差額を県と関係市町で負担している。

一方、維持管理費のうち、污水处理一般については、使用者負担が原則であるが、高度処理費用に対する使用者の負担は一部にとどめている。表6は、琵琶湖流域下水道各処理区における污水処

表3 多段脱窒法と循環法の比較

項 目	処理法	多段脱窒法	多段脱窒法 + 後脱窒	循環法
反応タンク容量 (HRT・hr)		9～14	12～17	14.4～16.2
窒素除去率(%)		75～85	94.9～98.1	70.9～82.2
電力使用量(-)		1.0	1.0～1.1	1.1

タンク容量：琵琶湖流域下水道の実績

窒素除去率：多段脱窒法は下水道設計指針と解説、他は琵琶湖流域下水道の実績で砂ろ過までの除去率

電力使用量：多段脱窒法を1.0とした推定値

表4 各浄化センター処理能力 (m³/日)

処理区	現処理能力	A方式	B方式
湖南中部	216,500	190,500	26,000
湖西	52,500	35,000	17,500
東北部	82,250	31,500	50,750
高島	12,000	7,600	4,400
計	363,250	264,600	98,650

A方式：凝集剤添加循環法 + 砂ろ過法

B方式：凝集剤添加多段脱窒法 + 砂ろ過法

表5 各浄化センター処理状況 (mg/ℓ)

項 目	流入水質	処理水質	
		A方式	B方式
BOD	138～180	0.6～1.2	0.8～1.5
COD	70.2～98.8	4.8～6.7	4.4～6.1
SS	116～199	0.2～0.7	0.2～0.7
T-N	25.9～29.7	4.6～7.7	0.5～1.5
T-P	2.7～3.22	0.02～0.04	0.02～0.04

各処理場の平成15、平成16年度2ヵ年間の平均値の最小値と最大値を示した。

表6 各処理区の処理費用

(円/㎡)

処理区	排水区分	1,2次 処理 費用	高度処理費用				資本費	使用者 負担額
			県	市町	使用者	計		
湖南中部	一般排水	48	6	4	1	11	8	57
	特定排水	48	0	0	11	11	12	71
湖 西	一般排水	59.7	6.8	5.4	1.3	13.5	9.5	70.5
	特定排水	59.7	0	0	13.5	13.5	14.3	87.5
東北部	一般排水	50.7	4.6	3.7	0.9	9.2	5.3	56.9
	特定排水	50.7	0	0	9.2	9.2	15.8	75.7
高 島	一般排水	101	18	13	4	35	0	105
	特定排水	101	0	0	35	35	21	157

* 使用者負担額=1,2次処理費用+高度処理のうち使用者負担分+資本費

理費用が、どのように使用者の負担、つまり下水道使用料の構成要素となっているかを示したものである。高度処理に係る費用は、標準活性汚泥法をベースとして、これを上回る電気料金、薬品費および保守点検に係る費用要素で構成されるが、家庭等の一般排水に対する高度処理費用については、汚水処理の負担原則をそのまま適用するのは適当でないという判断から、県50%、市町40%、使用者10%を負担区分の目安としている。すなわち、高度処理という公共用水域の水質保全という公共性の強い目的達成のためには、公がその大部分を負担すべきという考え方が基本となっている。なお、高度処理に係る維持管理経費等の一定部分については、特別交付税措置され、国の支援が行われているが、琵琶湖という府県を超えた公共性の強い水域の水質保全に対する費用の負担については、その効果に関する評価とともに議論が必要である。

4. リンおよびCODの処理レベルの高度化⁴⁾

4.1 超高度処理実証調査

リンおよびCODの処理レベルの高度化は、それぞれ凝集剤の二段添加法、オゾン+生物活性炭法を想定している。過年度調査においては、実施規模での処理効果の検証をはじめとする技術的な課題が残されていたため、平成16年度から平成17年度までの2カ年間にわたり湖南中部浄化センターにおいて実証調査を行った(写真)。調査に用いた超高度処理施設は、本施設である「凝集剤添加多段脱窒法+砂ろ過法」の処理水を原水とす

る6,500m³/日の処理能力の「オゾン処理」および「生物活性炭処理」で構成されている。また、砂ろ過の前にもPACを添加できるようにし、PAC二段添加に関する検討も行った。

4.2 実証調査の結果

2年間の調査を通じて、下水処理に関する新たな断面からの貴重なデータが得られたが、主たる調査目的からの調査結果は以下のとおりである。

- 1) オゾン・生物活性炭処理の費用について、以前の検討と比較して、10mg/ℓと想定していたオゾン注入率は、高々5mg/ℓ程度に押さえることができること、180m/日と想定していた生物活性炭のろ過速度は200m/日以上とすることができること、さらに生物活性炭の寿命も予想以上であることなどから建設費、維持管理費とも抑制可能であることが示された。
- 2) 処理水のCOD目標値：3mg/ℓ達成のためのオゾン注入率を中心とする運転条件が示された。

写真 オゾン・生物活性炭実証施設

- 3) 従来法である PAC の一段添加と比較しつつ、二段添加に関する調査を実施したが、生物反応槽最後段への一段添加のみでも十分な効果が得られることがわかった。
- 4) オゾン、生物活性炭処理により、環境ホルモンやトリハロメタン生成能を低減させることができることや臭素酸の生成条件など安全性に関する評価が深められた。
- 5) オゾン・生物活性炭処理法を導入した場合の CO₂排出量は20～30%増加するため地球温暖化の面からも本処理方式を評価しなければならない。
- 本実証調査は当初、2年間の調査で終了する予定であったが、調査期間では生物活性炭が必要な除去能力を維持し続けたため、今後、①生物活性炭の破過条件を見極めた上での活性炭の交換頻度、②オゾン注入のさらなる効率化に焦点をあててさらに調査を継続する計画である。

5. ま と め

マザーレイク21計画で掲げた目標に対して、窒素対策についてはすでに実施に移されているし、この間の調査を通じてリン対策についても従来法の枠組みのなかで実現するめどができてきた。問題は、COD 対策としてのオゾン・生物活性炭処理法の取り扱いであり、今後さらに効率化にむけた調査を継続するとともに、費用対効果の面から他の施策とともに横並びでの評価を加えていかなければならない。

参 考 文 献

- 1) 滋賀県：琵琶湖流域下水道30年の歩み、p.26-29 (2002)
- 2) 澤井源市：琵琶湖における下水道高度処理の現状と展望、EICA、第11巻、第1号 (2006)
- 3) 日本下水道事業団技術評価委員会：ステップ流入式多段硝化脱窒法の技術評価に関する報告書 (2002)
- 4) 滋賀県、滋賀県下水道公社：超高度処理実証調査報告書 (2006)

行事案内

(社)水環境学会関西支部第2回ミニフォーラム 簡易分析法の現状と課題

(社)日本水環境学会関西支部では、簡易分析法の現状とそれらを利用、応用する場合の課題、いくつかの簡易分析法の実際とその評価等についてのミニフォーラムを開催する。

記

主 催：(社)日本水環境学会関西支部

期 日：2006年9月29日(金)15:00～17:00

場 所：大阪市立阿倍野市民学習センター、講演講堂 (TEL: 06-6634-7951)
阿倍野市民学習センター URL (http://www.city.osaka.jp/kyouiku/sisetu/establish02_2.html) (地図記載))

参 加 費：1,000円 (資料代含む。会員、非会員を問わず)

定 員：100名

プログラム：

15:05～15:35 「簡易分析法の現状と課題」
中室克彦 (摂南大学)

15:35～16:05 「水質簡易分析法の実際と環境調査への適用」

貫上佳則 (大阪市立大学)

16:05～16:35 「免疫化学測定(ELISA)キットの評価と環境分野での利用」
古武家善成 (兵庫県立健康環境科学研究所)

16:35～16:55 総合討論

申込方法：E-mail で氏名 (フリガナ)、所属、連絡先 (住所・電話・FAX・E-mail) を記入の上、下記へ申し込む。なお、参加費は当日受付で支払う。

申込締切：9月19日 (火)

申し込み・問合せ先：
貫上佳則 (大阪市立大学)
E-mail: kanjo@urban.eng.osaka-cu.ac.jp
TEL: 06-6605-2728, FAX: 06-6605-3048