

水環境保全に寄与した高度処理技術の開発と普及

Contribution to Water Environment Conservation through the Development and Implementation of Advanced Treatment Technologies

岡本誠一郎*

1970年の公害国会では、水質汚濁防止法の制定や下水道法の改正など、水環境保全行政の骨格となる制度構築が行なわれた。以来50年の間に国内の下水道整備は大きく進展し、さらに高度処理等の機能改善も進められ、結果として公共用水域の水環境は顕著な改善がみられるようになった。本稿では、富栄養化対策等を目的とした下水道の高度処理技術の開発や事業導入の経緯とともに、それに貢献した「高度処理会議」の役割等について紹介する。

一方、近年は水質改善傾向のなかで、瀬戸内海等水域によっては栄養塩の過剰と不足のそれぞれが原因と推定される問題が同居する状況もみられるようになってきている。このように水環境の状況も多様化する時代へと変遷し、高度処理に関しても季節別運転による能動的な栄養塩管理等、それぞれの水域の状況に応じたきめ細やかな対応が求められるようになった。本稿ではこうした近年の新たな動向や今後の課題についても論述する。

Key words：高度処理，流域別下水道整備総合計画，高度処理会議，放流水質基準，能動的栄養塩管理，段階的高度処理

1. はじめに

1970年のいわゆる公害国会(第64回臨時国会)では、水質汚濁防止法の制定とともに下水道法の大改正も実施されるなど、水環境保全行政の骨格となる制度構築が行なわれた。以来50年の間に国内の下水道整備は大きく進展し、さらには高度処理

の推進や合流式下水道の改善などの機能改善も進められ、公共用水域の水環境は大きく改善している。

本稿では、これらの取組みのうち、とくに下水道の高度処理技術を対象に、技術開発とその導入の推移や水質保全に果たした役割等について紹介したい。

* Seiichiro OKAMOTO, 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部 博士(工学) 〒305-0804 茨城県つくば市旭1, Ph.D., National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT, 1 Asahi, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305-0804 Japan (E-mail : okamoto-s92ta@mlit.go.jp)

2. 高度処理を取りまく水環境の状況

事業場の排水規制導入や、下水道の整備など各種の取組みにより、この50年間に公共用水域の水質は着実に改善に向かっている。生活環境の保全に関する環境基準(生活環境項目)のうち、有機汚濁の代表的な水質指標であるBODまたはCODの環境基準の達成率は、1974年度は全体で54.9%であったのが、20年後の1994年度では68.9%、最新データとなる2018年度は89.6%となっている。一方、水域別では、河川94.6%、湖沼54.3%、海域79.2%(いずれも2018年度)であり、湖沼では改善傾向にはあるものの依然として達成率が低くなっている(図1)¹⁾。海域も三大湾および瀬戸内海の広域閉鎖性海域に限ると達成率は50~70%程度¹⁾と改善が遅れがみられる。

この50年の間に、まずは大都市域で先行して下水道の整備等が進み、都市域を中心に河川の水質は向上したが、湖沼や内湾などでは窒素、リンの濃度が高い富栄養化状態にあり、藻類の異常増殖による水質障害の発生とともに、COD等の水質環境基準の達成率が低い状態が続いていた²⁾ことが、水域間の達成率の差につながったと考えられる。

1982年に湖沼の富栄養化対策として、琵琶湖等の特定の湖沼において、また、1993年には海域においても窒素、リンの水質環境基準が導入された。

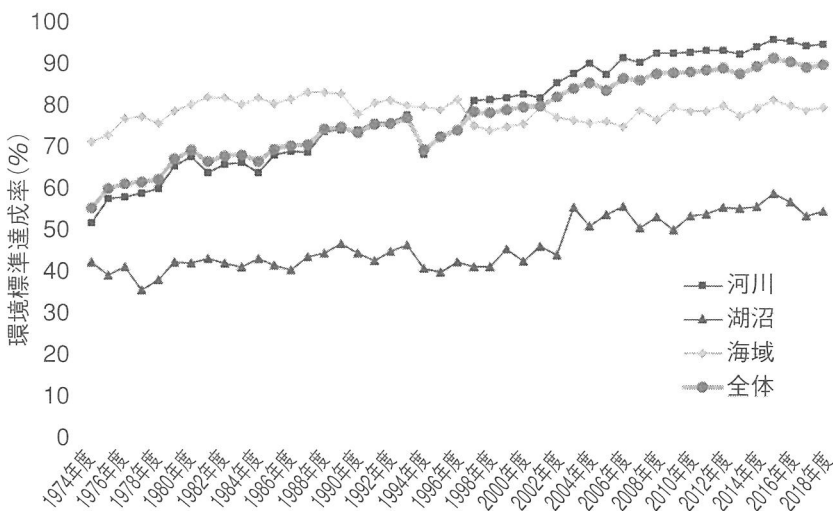


図1 公共用水域の水質環境基準(BOD, COD)達成率の推移(文献1)を基に作成)

さらに、1978年に導入された閉鎖性水域における水質総量規制は、当初はCODが指定項目であったが、その後、第5次水質総量削減計画(2001年基本方針策定)からは窒素、リンが対象に追加され、閉鎖性水域での富栄養化対策が強化された³⁾。こうしたなかで、下水道では放流水域の水質環境基準の達成等に向けて、有機物とともに窒素・リンを対象とした高度処理の導入が進められることとなった。

こうした整備の進捗により、水域の水質も改善傾向がみられるようになってきた。その一方で、近年、瀬戸内海等水域によっては、赤潮や青潮の発生等の栄養塩の過剰が原因とみられる課題と、養殖ノリの色落ちなど栄養塩の不足が原因とみられる課題が入り組んで存在する状況が発生するようになってきた。このため、栄養塩不足による支障のおそれのある水域においては、後述する下水処理場の季節別管理運転等、栄養塩類の管理が求められる状況へと変化している⁴⁾。

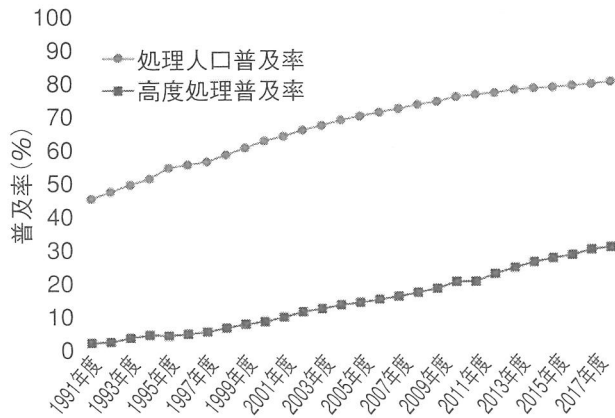
3. 高度処理の普及展開の推移

3.1 実施目的と実施状況

「高度処理」とは、通常の有機物除去を目的とした二次処理で得られる処理水質以上の水質を得る目的で行なう処理をいい、通常の二次処理の除去対象物質(BOD, SS)の除去向上を目的とするものと、二次処理では十分に除去できない物質(窒素、リン、難分解性CODなど)

の除去向上を目的とするものがある⁵⁾。また高度処理の導入目的には、上記のような放流水域の水質環境基準の達成維持とともに、放流水域の利水対応(水道水源の上流、漁場、レクリエーション水域近傍など)や処理水再利用(環境用水、雑用水、農業用水など利用用途別の水質確保)などを目的とする場合もある。

国内では、とくに湖沼や3大湾などの閉鎖性海域における水質改善を目的に、高度処理が導



注) 処理人口普及率 = 処理人口 / 行政人口 × 100 (%)
 高度処理普及率 = 高度処理人口 / 行政人口 × 100 (%)
 高度処理人口の定義：
 1994年度以前…下水道処理場の高度処理施設能力を人口
 等量換算したもの
 1995年度以降…高度処理水量 / 処理水量 × 処理人口

図2 下水道の処理人口普及率と高度処理普及率の推移(6)を基に作成)

入されるケースが多くみられる。図2に国内の高度処理実施状況の推移を示した⁶⁾。なお、本図の高度処理普及率は、指標の定義上高度処理を必要としない区域の人口を含む行政人口が分母となるため、最終的な目標は100%とはならない(処理人口普及率もその点は同様である)。このため国土交通省では別の指標として「良好な水環境創造のための高度処理実施率」(公共用水域の水質改善による良好な水環境創造に必要な高度処理を導入すべき処理場に係る区域内人口に対する、高度処理が実施されている区域内人口の割合)も公表しており、2019年度末現在、全国平均で56.3%となっている⁷⁾。かつては遅れが目立った高度処理も、しだいに進捗が加速している。

3.2 高度処理の計画

公共用水域の水質基準の達成維持に向けて高度処理を実施する場合、都道府県が策定する流域別下水道整備総合計画(流総計画)にその内容があらかじめ定められるのが一般的である。流総計画は1970年の公害国会における下水道法改正で規定が追加された法定計画であり、わが国の流域水管理の一端を担う先駆的な計画制度であった。

高度処理については、都道府県による流総計画

の策定時調査において、目標とする処理水質や処理方式が、つぎの順序で定められることとなる。すなわち、流域全体の汚濁負荷量(農業、畜産、山林なども含む全体量)の現況と目標年次の見通しを算定し、対象水域の汚濁解析を基に下水道による汚濁負荷量削減計画を定め、下水道整備計画のなかで必要な高度処理等を定めていく。結果として、それが流総計画に定めるべき「下水道の根幹的施設の配置、構造及び能力」として位置付けられる。事業主体である市町村等は、流総計画に基づきそれぞれの事業を実施する。こうした手順を踏んでいるからこそ、高度処理を含む下水道整備がその水域の環境基準の維持達成を担保し得る計画・事業体系となっているわけである。

なお、流総計画調査の汚濁解析では、河川を対象にする場合と閉鎖性水域を対象にする場合では、方法が大きく異なる。後者では水域内の内部生産や底泥からの溶出など富栄養化のメカニズムをモデル化した水質予測モデルが用いられる⁸⁾。前述の通り、流総計画は50年前に定められた先駆的の制度であったため、計画策定に必要な調査手法の開発も早くから進められ、富栄養化対策の面でも水質予測モデルの確立等の技術面で先導的な役割を果たした側面もある²⁾。

3.3 高度処理の技術開発と導入

3.3.1 高度処理会議

わが国の高度処理技術の確立に向けては、建設省下水道部、同・土木研究所、日本下水道事業団、地方公共団体をメンバーとする「高度処理会議」の果たした役割が大きい。1971年に、その前身である三次処理技術開発協力会議が発足し(1982年に高度処理会議と名称変更)、調査研究が進められてきた。同会議での成果は、表1に示すとおり各種マニュアル類として取りまとめられ⁹⁾¹⁰⁾、高度処理の設計法の確立に寄与するとともに、国内の施設設計に広く用いられてきた¹¹⁾。さらにこれら成果は、(社)日本下水道協会下水道施設計画・設計指針にも順次反映された。

こうした検討と並行して、国内ではまず湖沼流域関連の下水処理場で窒素・リンの負荷削減を目的とした高度処理の導入が進められた。茨城県霞ヶ浦浄化センターでは1979年に凝集剤添加活性汚

表1 高度処理会議によるマニュアル・設計資料等(文献9)10)を基に作成)

年次	名称	備考
1982	下水二次処理水の急速ろ過設計マニュアル	
1986	リン・窒素除去法設計資料	I. 凝集剤添加活性汚泥法 II. 循環式硝化脱窒法 III. 晶析脱りん法
1987	リン・窒素除去法設計資料	IV. 硝化・内生脱窒法
1990	下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル(案)	
1991	リン・窒素除去法設計資料	V. 嫌気-無酸素-好気法
1994	高度処理施設設計資料	上記I~Vの処理法に加え、嫌気-好気活性汚泥法、凝集剤併用型生物学的窒素除去法を掲載 (社)日本下水道協会より高度処理施設設計マニュアル(案)として発刊
2003	高度処理施設設計資料検討プロジェクト報告書**	高度処理施設設計資料の設計数値再検討、活性汚泥モデルの適用性評価

※この他に同会議より数次にわたる報告書が発刊されている

※※2003年報告書は、高度処理会議に設置されていた高度処理施設設計資料再検討WGの活動を継承した「下水道技術会議高度処理施設設計資料検討プロジェクト」による報告である¹⁰⁾

表2 水処理関連のおもな下水道技術開発プロジェクトの概要(文献14)を基に加筆修正)

プロジェクト名	概要
バイオフィーカスWT (バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発)	1985～：当時、発展の著しかったバイオテクノロジーを活用して、排水処理の省エネルギー・低コスト化、処理水質の向上、有価資源(バイオガスを含む)の回収、有用微生物の活用などの課題解決を目的に実施。排水処理に関わる微生物バンク、遺伝子操作の処理微生物への適用、微生物の固定化、下水処理用バイオリクターなどに関する研究開発が行なわれた
SPIRIT21 (下水道技術開発プロジェクト。第1号の課題として合流式下水道の改善対策に関わる技術を選定し、技術開発を実施。窒素・リン等の処理技術は対象外であるが、高速ろ過、消毒、凝集分離、計測制御などの課題を対象に開発が行なわれた)	2002～：開発技術の早期かつ幅広い実用化を目的とした産学官の連携による技術開発プロジェクト。第1号の課題として合流式下水道の改善対策に関わる技術を選定し、技術開発を実施。窒素・リン等の処理技術は対象外であるが、高速ろ過、消毒、凝集分離、計測制御などの課題を対象に開発が行なわれた
A-JUMP (日本版次世代MBR技術展開プロジェクト)	2008～：世界的にも高い技術・ノウハウを有する膜処理技術の下水道への適用とともに、国内企業による水ビジネスの海外展開に向けた開発プロジェクトを実施。実規模の施設で技術を検証し、必要な知見を集積する方式で研究開発を行っており、後のB-DASHプロジェクト(実規模実証)の先駆となった
B-DASH (下水道革新的技術実証事業)	2011～：新技術の研究開発および実用化を加速することにより、下水道事業における創エネルギー、省エネルギー、浸水対策、老朽化対策などを推進し、本邦企業による水ビジネスの海外展開も支援するための技術実証プロジェクト。実規模実証とともに2016年度からはFS調査も実施中。水処理技術としては、窒素除去(アナモックスプロセス)、省エネ型水処理(無曝気循環式水処理技術、高効率固液分離と二点DO制御技術など)、ICTを活用した運転制御技術、ダウンサイジング水処理技術などの開発が行なわれている

泥法(リン除去)が導入され、さらに1988年からは嫌気-無酸素-好気法(A₂O法；窒素・リン同時除去)が本格導入されている。滋賀県湖南中部浄化センターでは1982年に循環式硝化脱窒法(窒素除去)と凝集沈殿(リン除去)による高度処理が開始された²⁾¹²⁾。

日本下水道事業団では、これまで微生物を利用した窒素・リン除去プロセスをはじめ、各種の高度処理法に対する技術評価を進めており、技術評価委員会による答申内容は対外公表されている。また、技術の特徴や適用範囲、設計諸元などの評価結果を同事業団の設計基準に反映するとともに

に、受託工事においてその技術導入を進め、国内の高度処理技術の実装に寄与してきた²¹⁾¹³⁾。

3.3.2 水処理に係る技術開発プロジェクト

3.3.1で紹介したように、国内では高度処理会議等の検討をベースに高度処理の導入が進む一方で、新しい原理や発想に基づく水処理技術については、国等による技術開発プロジェクトにより開発が進められたものもある。これらのプロジェクトは、産学官の連携と役割分担のもとで、技術開発の加速と早期の普及展開の実現を目指して進められてきた。表2におもな水処理関連の技術開発プロジェクトの概要を示した。

水処理や汚泥処理の分野では、これまで民間の開発技術の導入がなかなか進まないという指摘もあり、従前の技術開発プロジェクトでも十分な解決につながっていない面もあった。そこで現在も実施中のB-DASHプロジェクトでは、実規模レベルの施設での実証研究、国による技術導入ガイドラインの策定、民間企業と地方公共団体等の連携による開発体制、といった構成で開発と導入の早期促進を目指している。筆者が所属する国土技術政策総合研究所(国総研)はB-DASHの制度創設以来、一貫してその実施機関として携わっており、開発・評価された各技術の技術導入ガイドラインを作成・公表するとともに、ガイドライン説明会を毎年下水道展に併せて開催するなど、その導入促進にも力を入れている。

4. 高度処理の法令上の位置付けと水処理技術評価

ここで、下水道の高度処理に関する法制度面の経緯についても触れておきたい。

下水道法では、下水道の構造は政令で定める技術上の基準(または政令で定める基準を参酌して地方公共団体の条例で定める技術上の基準)に適合するものでなければならない、とされている(下水道法第7条、第7条の2)。しかし、2003年まではこの基準は未制定となっていた。下水道の技術開発が精力的に進められるなかで、技術基準の制定が新たな開発を阻害することへの懸念が背景にあった¹⁵⁾といわれている。また、放流水の基準についても高度処理に関する規定はなかった。

しかし、2000年頃になると、地方分権の流れのなかで国の許認可基準の明確化という要請から、下水道に対しても構造基準の制定が求められるようになっていた。さらに当時、東京都のお台場海浜公園へのオイルボール漂着事案を契機に、合流式下水道の雨天時越流水が社会問題となっており、改善対策の目標としてもその構造や雨天時放流水の基準を定める必要に迫られていた。

こうした背景のもとで2003年に下水道法施行令が改正され、水処理の関連では計画放流水質と水処理施設の構造上の基準などが規定されることとなった。これまで公共用水域の水質保全を目的に高度処理を導入しても、放流水質基準が明確になっていなかったが、新たな構造上の基準に定める処理方式別に、計画放流水質区分が定められたことにより(下水道法施行令第5条の5、第6条)、高度処理に関する放流水質基準も明確化された(表3)。

一方、実績はあるが下水道法施行令や関連の運用通知には位置付けのない処理技術や、今後新たに開発される技術については、個別に評価を行ない計画放流水質区分との適合を判断することとされた。国土交通省ではその評価委員会として「水処理技術委員会」を設置しており、その事務局は国総研が担当している。

5. 高度処理の新たな展開と今後の課題

公害国会以降の50年の間に、著しい水質汚濁の対策としてひたすら下水道整備と高度処理の導入を進めてきた時代から、水質改善が進むなかで水環境への要請も多様化する時代へと変遷している。近年は高度処理に関しても、それぞれの水域の状況に応じたきめ細やかな対応が求められるようになっており、そのための新たな施策が必要とされている。本章ではこうした高度処理に関する近年の新たな動向と今後の課題を紹介する。

5.1 効率的・機動的な高度処理導入：段階的 高度処理

流総計画において高度処理が必要とされる下水処理場でも、現状の施設は二次処理レベルで整備されているケースは比較的多い。この場合、施設の全面的な改築が実施されるまで高度処理の導入

表3 下水道法施行令に定める処理方法と計画放流水質区分との対応

計画放流水質			方法 (記載されている処理方法と同程度以上の処理方法を含む)
BOD(mg/l)	T-N(mg/l)	T-P(mg/l)	
10を越え15以下			標準活性汚泥法
		3以下	嫌気無酸素好気法 嫌気好気活性汚泥法
	20以下		嫌気無酸素好気法 循環式硝化脱窒法
		3以下	嫌気無酸素好気法 循環式硝化脱窒法(凝集剤を添加)
10以下			標準活性汚泥法(急速ろ過法を併用)
		1を越え3以下	嫌気無酸素好気法(急速ろ過法を併用) 嫌気好気活性汚泥法(急速ろ過法を併用)
		1以下	嫌気無酸素好気法(凝集剤を添加, 急速ろ過法を併用) 嫌気好気活性汚泥法(凝集剤を添加, 急速ろ過法を併用)
	10を越え20以下		嫌気無酸素好気法(急速ろ過法を併用) 循環式硝化脱窒法(急速ろ過法を併用)
		1を越え3以下	嫌気無酸素好気法(急速ろ過法を併用) 循環式硝化脱窒法(凝集剤を添加, 急速ろ過法を併用)
		1以下	嫌気無酸素好気法(凝集剤を添加, 急速ろ過法を併用) 循環式硝化脱窒法(凝集剤を添加, 急速ろ過法を併用)
	10以下		循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法 嫌気無酸素好気法(有機物を添加, 急速ろ過法を併用) 循環式硝化脱窒法(有機物を添加, 急速ろ過法を併用)
		1を越え3以下	循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法(凝集剤を添加) 嫌気無酸素好気法(有機物を添加, 急速ろ過法を併用) 循環式硝化脱窒法(有機物および凝集剤を添加, 急速ろ過法を併用)
		0.5を越え1以下	循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法(凝集剤を添加) 嫌気無酸素好気法(有機物および凝集剤を添加, 急速ろ過法を併用) 循環式硝化脱窒法(有機物および凝集剤を添加, 急速ろ過法を併用)
		0.5以下	循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法(凝集剤を添加) 嫌気無酸素好気法(有機物および凝集剤を添加, 急速ろ過法を併用)

※上表のうち、つぎの区分に掲げる方法と同程度に下水を処理することができる方法として以下のものがある¹⁶⁾

○BOD(mg/l)：10を越え15以下

オキシデーションディッチ法，長時間エアレーション法，回分式活性汚泥法，酸素活性汚泥法，好気性ろ床法，接触酸化法

○BOD(mg/l)：10を越え15以下，T-N(mg/l)：20以下

硝化内生脱窒法，ステップ流入式多段硝化脱窒法，高度処理オキシデーションディッチ法

が行なえずに、長い年数が経過するおそれがある。このため、施設の全面改築前であっても、部分的な設備更新や処理能力の余裕の活用、運転管理の工夫など、早期に導入可能な方法の採用により、処理水質を段階的、効率的に向上させる方向への転換が必要とされた¹⁷⁾。この一環として国交省では、2008年には既存施設の部分的改造等により標準活性汚泥法の前段を無酸素条件や嫌気条件とし

て汚泥の返送率を上げることにより、循環式硝化脱窒法や嫌気好気活性汚泥法として取り扱うことができる、いわゆる「段階的高度処理」の推進を図っており¹⁸⁾、高度処理促進の一助となっている。その代表的なプロセス例を図3に示す。2014年には、各地で実施された既存施設を活用した段階的高度処理の事例や運転管理の知見が「高度処理ナレッジ集」として取りまとめられた¹⁹⁾。

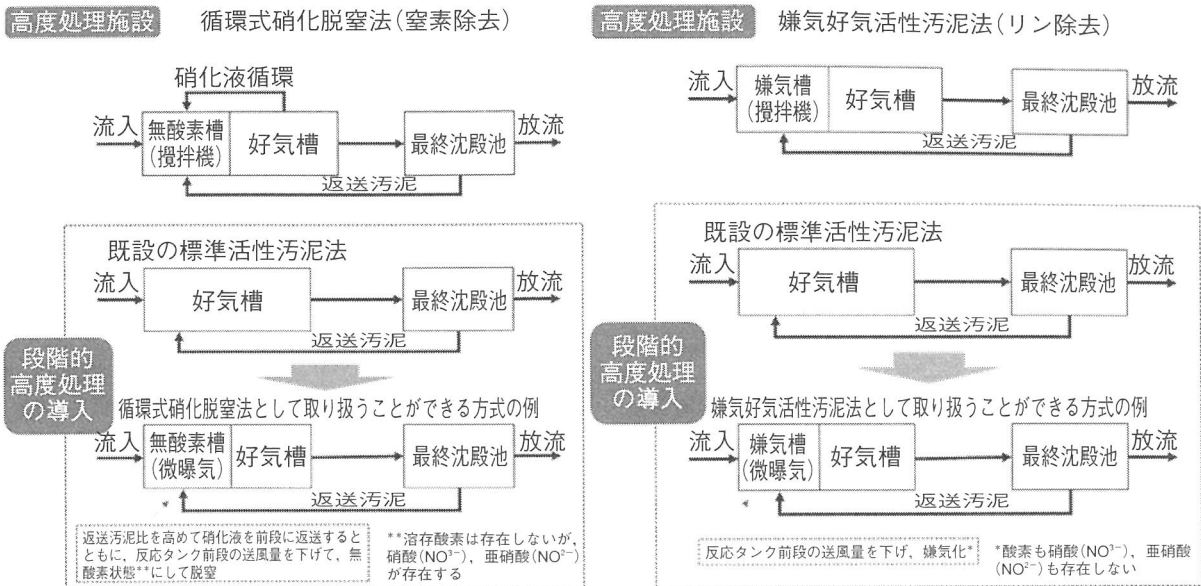


図3 段階的 高度処理の事例(左：窒素除去，右：リン除去)(文献18)19)を基に作成)

5.2 下水放流水中の栄養塩類の能動的管理

公共用水域の水環境保全には、ここまで紹介したように有機汚濁負荷や栄養塩類の削減により、全国で水質環境基準の達成を図ることが重要と考えられてきた。しかし、生物の多様性の保全や持続可能な水産活動を育める「豊かな海」にとっては、栄養塩類は欠かせないものでもある。このような水域を取りまく状況の多様化に応じて、近年、沿岸域のいくつかの下水処理場では、放流先の養殖業等に配慮し、冬季に下水処理水中の栄養塩類濃度を上げることで不足する窒素やリンを供給するなどの、地域ニーズに応じた水質管理(季節別運転管理)の取組みが始められている²⁰⁾。

こうした処理場では、窒素濃度を高めるための硝化や脱窒の抑制運転や、リン濃度を高めるための薬品添加量の調整、DO調整によるリンの吸収抑制、嫌気槽への送気によるリンの吐き出し抑制(その後の好気槽での過剰摂取の抑制)などを、季節に応じてきめ細かく実施している。季節別運転の実施処理場はしだいに増加しており、今後はその放流先への効果等さらなる知見の集積が望まれている。

5.3 さらに高度処理の省エネ化に向けて

現在、下水道のエネルギー消費に関して「概ね20年で下水道事業における電力消費量の半減」が目標とされている²¹⁾。一般に、下水の処理水質と

消費エネルギーはトレードオフの関係にあり、高度処理においてもいかに消費エネルギーを抑制するかが重要な課題である。そのためには、表2のB-DASH技術のような省エネ型高度処理技術の導入といった選択肢とともに、施設の水質管理目標とエネルギー低減化の目標をバランスよく設定して、最適な管理を行なうことも重要である。

この最適管理のためのツールとして、水質とエネルギーのそれぞれの指標をグラフで「見える化」する「二軸管理」が推奨されている²²⁾。これにより、現状の把握や課題の抽出を行なうとともに、前述の季節別運転管理や、段階的 高度処理の運転管理において、さまざまな切り口で現況評価や改善を行なうことが可能となる。

温室効果ガスの排出抑制という制約下における高度処理のさらなる推進には、エネルギー消費をいかに抑制していくかが今後の大きな課題となっており、引き続きの技術開発や管理の効率化が求められている。

6. おわりに

公害国会以降の半世紀における水環境の変化と、下水道の高度処理が果たしてきた役割などを紹介してきた。高度処理の技術開発の過程で、国総研および旧建設省土木研究所(現国研土木研究所)は形を変えながらも大きな役割を担ってきた

と認識しており、今後とも水環境に求められる多様なニーズに対応して課題解決に向けた取組みを続けていきたい。

—参考文献—

- 1) 環境省：令和2年版 環境・循環型社会・生物多様性白書，第2部第4章(Excelデータ) (http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r02/excel/fd2_4_2_01.xlsx/) (2020).
- 2) (公社)日本下水道協会：続日本下水道史 技術編，p.11～12，東京(2016).
- 3) (公社)日本下水道協会：続日本下水道史 技術編，p.142，東京(2016).
- 4) 中央環境審議会：瀬戸内海における今後の環境保全の方策の在り方について(答申)，p.8～10(https://www.env.go.jp/council/09water/y090-49b/mat03_1-1-1.pdf/) (2020).
- 5) (公社)日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説(後編)，p.20，東京(2019).
- 6) (公社)日本下水道協会：令和元年度下水道白書「日本の下水道」資料編，p.14，東京(2019).
- 7) 国土交通省資料.
- 8) (社)日本下水道協会：流域別下水道整備総合計画 指針と解説平成20年9月版，p.85，東京(2008).
- 9) 建設省：高度処理会議，高度処理会議第7次報告書，p.213(1998).
- 10) 鈴木 穰：高度処理施設設計資料検討プロジェクト報告書の概要，下水道協会誌，40(486)56～63(2003).
- 11) (公社)日本下水道協会：続日本下水道史 技術編，p.132，東京(2016).
- 12) (公社)日本下水道協会：続日本下水道史 技術編，技術年表，p.12，東京(2016).
- 13) (社)日本下水道協会：日本の下水道(平成19年版)，p.177，東京(2007).
- 14) 岡本誠一郎：10年目となるB-DASHプロジェクトの意義とその役割，季刊水団連，144，8(2019).
- 15) (公社)日本下水道協会：続日本下水道史 技術編，pp.128～131，東京(2016).
- 16) 国土交通省通知：下水道法に基づく事業計画の運用について(平成27年.11月19日国水下水事第80号)(2015).
- 17) 国土交通省，(社)日本下水道協会：下水道政策研究委員会流域管理小委員会報告書，水・物質循環の健全化に向けた流域管理のあり方について，p.22～23(2007).
- 18) 国土交通省事務連絡：処理方式の考え方について(平成20年6月17日国土交通省下水道部事務連絡)(2008).
- 19) 国土交通省下水道部：高度処理ナレッジ創造戦略会議，高度処理ナレッジ集(2014).
- 20) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：下水放流水に含まれる栄養塩類の能動的管理のための運転方法に係る手順書(案)(2015).
- 21) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：新下水道ビジョン加速戦略，p.11(2017).
- 22) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：水質とエネルギーの最適管理のためのガイドライン～下水処理場における二軸管理～(2018).