

「グリーン」な水質管理を目指して

山下洋正・諏訪 守・平山孝浩・北村友一

1. はじめに

水環境に関連の深いインフラである、河川湖沼、ダム貯水池、下水道などについて、治水と水環境両面での取り組みを強化することが求められている。その際には、流域の土地利用等の変化や気候変動影響等を踏まえる必要がある。グリーン社会の実現に資する水質管理として、生態系の保全に資する汚染物質低減や衛生面での安全性確保のための水質高度化と、その水処理にエネルギーを消費し過ぎないようにするカーボンニュートラル達成のための省エネ化等のバランスを考慮した対応が必要である。

ここでは、このような取り組みを「グリーンな水質管理」と位置づけて、特に水処理におけるエネルギー消費抑制が重要な課題である下水道を例に、その概念を整理するとともに、具体的な研究例として、「健全な水循環の構築に資する再生水利用の推進」、「沿岸域への下水処理水による栄養塩供給等、水域の特性に応じた水質の最適化と資源活用」の取り組み状況を報告する。

2. グリーンな水質管理とは

2.1 水質・安全性の向上と省エネ・脱炭素化

下水道における脱炭素の取り組みとして下水道政策研究委員会「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書」¹⁾において、「効率的なエネルギー利用と良好な水質確保との両立」の必要性が指摘されている。水質・安全性の向上と省エネ・脱炭素化のバランスを踏まえたグリーンな水質管理の概念について下水道を例として簡潔に図-1に示す。水質を高度化して安全性を向上させることは、処理に係るエネルギー消費の増大を招くトレードオフの関係となりうる。放流先の水環境や再生水利用の目的に応じた最適な水質とその水質を達成するために必要な処理方法・技術を選定することが重要である。これによりグリーンな水質管理が可能となると考えられる。

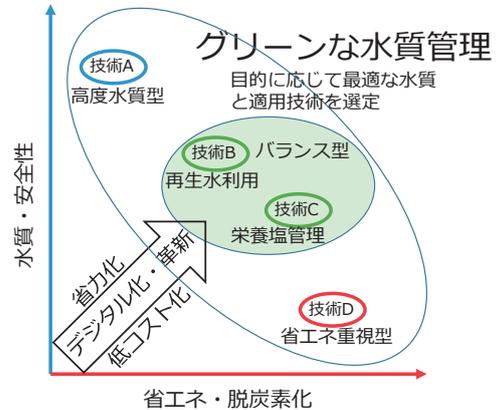


図-1 グリーンな水質管理の概念図（下水道の例）

なお、ダム貯水池管理や河川湖沼の水質管理においては、常に水質対策が必要となるわけではなく、水質課題の発生状況に応じて対応がなされるが、ダム貯水池における水質保全施設（気泡式循環施設等）や湖沼における負荷低減対策（流入負荷抑制の湖内対策等）等も含め、同様の概念を当てはめることが可能と考えられる。

2.2 バランス型の水質管理の要点

バランス型（図-1参照）はグリーンな水質管理の代表であるが、その技術面の要点について再生水利用と栄養塩管理を例として説明する。

脱炭素を考慮しつつ、下水を適切に処理して放流または再利用するためには、目的に応じた水質とそのための処理技術を選定する必要がある。また、下水に含まれる栄養塩（特に窒素、リン）は、閉鎖性水域の富栄養化の原因として高度処理で除去されてきたが、一部の海域では貧栄養化への対策として、削減せずに積極的に供給する方向へ転換されてきている。これは処理水質の緩和となり省エネ効果も期待されるが、一方で有機物等も濃度上昇となる可能性、季節ごとに運転を変更する場合に水質変動が大となる可能性がある。このように、バランス型では多様な場面で水質とエネルギー消費の関係を踏まえた取り組みが重要となっている。

3. 健全な水循環の構築に資する再生水利用の推進

3.1 社会的要請と研究目的

国土交通省気候変動適応計画（H30.11）²⁾や国土交通省環境行動計画（R3.10）³⁾において、比較的発生頻度の高い渇水による被害を再生水利用等により防止することが求められている。また、第二次国土形成計画（全国計画）（H27.8）⁴⁾においても、再生水は平常時の水資源利用に加え、災害時・渇水時の代替水源としての活用等が期待されている。現在でも、水洗・散水・修景・親水等の目的で再生水が利用されている。

さらに、水と緑豊かで魅力ある良好な都市環境の形成、水の適正かつ有効な利用が必要である。

このように、人間社会の営みと環境の保全に果たす水の機能の適切なバランスを確保した健全な水循環の構築に資するため、気候変動に適応した安全な再生水利用を促進することを目的として研究を実施している。

3.2 技術面における主要な課題

通常の下水处理の機能を安定的に発揮させることが第一であり、その上で下水処理水の再生水利用を安定的に実施することが可能となる。しかし、都市活動に由来する多様な処理影響化学物質が流入し、生物処理である下水処理に影響を与えている。例えば、アンモニア性窒素を処理する硝化プロセスにおいては、多様な化学物質が阻害をもたらすことが報告されている⁵⁾。

さらに、確実に到来する高齢化社会が、化学物質や病原微生物への対応を一層難しくする。

高齢者の健康な生活を支えるため、医薬品類の使用増大が見込まれる。これらに由来する化学物質が流入し、水処理および放流先環境への影響が懸念される。また、高齢者の感染症への脆弱性を踏まえ、水系感染症の一層の防御が求められる。

このように、都市の水質リスクを効果的に制御しつつ、グリーンな水質管理を高度に実現する方策が必要である。

3.3 研究の目標と具体的内容

3.3.1 消毒耐性病原微生物や消毒副生成物に対応した新規消毒法の開発

新規消毒法として、図-2に示すLEDを光源とする紫外線照射技術（UV-LED）に着目し、消毒

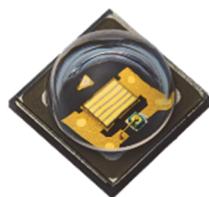
耐性病原微生物の低減と消毒副生成物の生成抑制効果の評価を進めている。紫外線消毒技術は、下水の消毒に広く採用されている塩素消毒技術と比べ、残留消毒剤や消毒副生成物による放流先影響の懸念がなく、塩素耐性のウイルス等へも消毒効果を有する利点がある。さらにUVランプと比べても、UV-LEDは水銀不使用であり、長寿命によるライフサイクルコストの低減も期待できる。水道分野では既に実導入されているが、より汚濁物質を含み微生物濃度も高い傾向にある下水の水質に適用するためには数倍の照射強度が必要とされている。これらの技術課題を克服することで、より環境にやさしい消毒技術の実用化が可能となる。

具体の技術開発については民間企業と共同研究を実施しており、下水処理場の実下水を連続処理・消毒する実験を継続している。大腸菌やファージ等の衛生指標微生物の低減状況を把握することにより、消毒性能の評価を行っている。

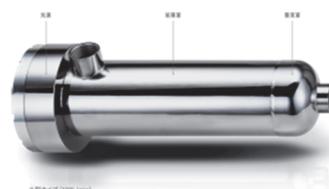
3.3.2 処理水質安定化のための水質異常検知と対策法の提案

各種水質センサーによる化学物質の検知実験と網羅的分析による化学物質の同定と異常時対策法の適用性を評価する。

R4年度より、図-3に示すように、下水処理場の反応タンクにアンモニア性窒素（NH₄-N）センサーや溶存酸素（DO）センサーを備えた水質異常検知・自動採水システムを試行的に設置しており、水質変動状況を把握中である。化学物質を高度に除去するためには、例えばオゾン処理技術や促進酸化技術（紫外線+酸化チタン等）が実用化されているが、すべての下水処理場に適用することは、エネルギーや費用の面で難しい。したがって、通常の下水处理技術を用いている場合でも、センサー等を活用してうまく運転管理することにより、高度な除去技術とまったく同等の除去効果までは期待できないもののエネルギーやコス



UV-LED単体



UV-LED消毒リアクター

図-2 UV-LEDによる効率的な下水消毒技術の開発

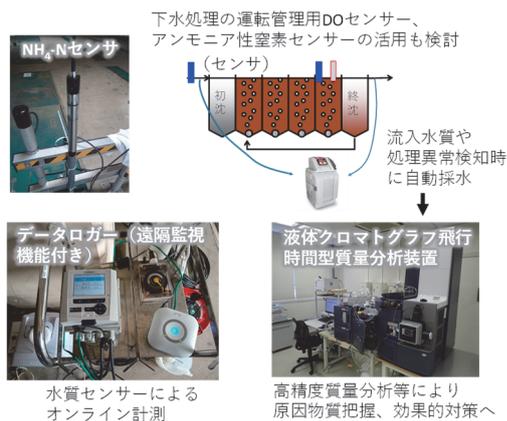


図-3 水質異常検知と対策技術の概要

トを抑制しつつ安定的な運転とある程度の除去を行うことを可能として、グリーンな水質管理に近づけることが重要と考えられる。

3.3.3 病原微生物と化学物質の制御による再生水の水質安全確保技術の提案

上述の研究成果を踏まえ、下水処理および再生水処理技術による病原微生物、化学物質の除去性能を向上させ、利用用途に適した水質安全性を確保する技術を提案する予定である。これにより、健全な水循環の構築に資する再生水利用の促進を図ることとしている。

4. 沿岸域への下水処理水による栄養塩供給

4.1 社会的要請と研究目的

第二次国土形成計画⁴⁾において、陸域と一体となった自然環境の保全・再生、沿岸域の総合的 management の必要性が示されている。陸域から供給される栄養塩類は川や海の生物を育み、豊かな生態系を形成している。陸域と一体となった沿岸域の自然環境の保全及び再生を図ることが重要である。

近年、下水処理の普及（特に窒素やリンを除去する高度処理の推進）や総量規制の進展等により多くの海域で窒素・リン濃度は減少傾向にある一方で、一部の海域ではノリの色落ちやアサリの不漁が報じられており、特に冬季における海域の貧栄養化が示唆されている。

このため瀬戸内海水質保全特別措置法が改正され、海域への栄養塩類を供給するための栄養塩管理計画の策定等、新たな施策が導入されている。例えば、兵庫県栄養塩類管理計画⁶⁾では、栄養塩類増加措置実施者として下水処理場28箇所も対象とされ、窒素の処理を緩和する季節別運転

(11月～4月に硝化抑制、脱窒抑制)を実施することとされている。他にも、有明海、三河湾等でも、ノリやアサリの生産量増加を目的とした栄養塩管理運転（季節別運転）が試行的に実施されており、図-4に示すような考え方で取り組まれている。

このように、放流先に応じた水質管理が求められており、水質の緩和が下水処理の省エネにつながれば、脱炭素化にも貢献する可能性がある。

このため、下水処理場における安定的な栄養塩供給運転及び放流先への影響を踏まえた適切な目標水質設定を可能とし、流域規模での栄養塩類管理に資することを目的として、グリーンな水質管理の一環として研究を実施している。

4.2 技術面における主要な課題

下水処理場の運転について（図-4のa）、栄養塩を残存させる処理方式は下水中の有機物の除去効果を低減させる可能性が考えられる。有機物指標(BOD)も含めた放流水の水質基準を達成しつつ、目的の栄養塩類を残す効果的な運転技術を構築する必要がある。また、運転方法変更時には生物処理が不安定になる可能性があり、図-5に示すように、水質変動の増大につながり水質管理が困難となる場合への対処法も必要である。

放流先の海域においては、栄養塩類の供給の効果（図-4のb）や環境基準の達成状況への影響有無（図-4のc）等について継続的なモニタリングが求められ、これには処理水に残存する有機物等の放流先への影響を把握する観点も含まれる。

処理水の影響範囲が明確に現れうるのは沿岸域近傍で供給運転時に限られると想定され、時間・空間解像度の要求レベルを踏まえた、実効性ある水質モニタリング方法の開発が必要である。

これらの技術的課題を踏まえ、栄養塩類及び汚

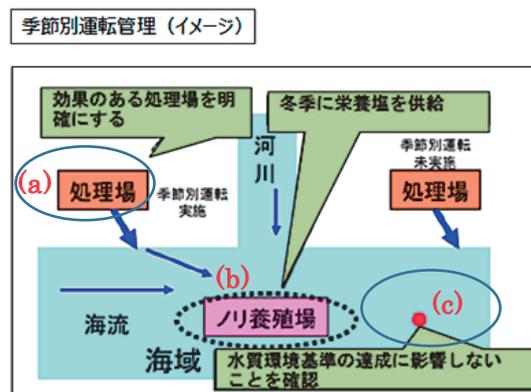


図-4 下水処理場から沿岸域への栄養塩供給の概念図⁷⁾

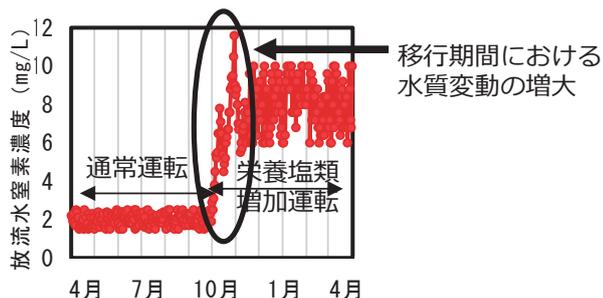


図-5 能動的運転管理における水質変動増大のイメージ

濁負荷の適正管理と循環の回復及び促進等を図るため、沿岸域における下水道の放流水に含まれる栄養塩の供給・管理技術の提示が必要である。国土交通省下水道部の「能動的運転管理の効率的な実施に向けた検討会」においても「栄養塩類の能動的運転管理の効果的な実施に向けたガイドライン（案）」が検討されており⁸⁾、これらを技術的に補完しうる知見の充実が重要である。

4.3 研究の目標と具体的内容

4.3.1 安定的な有機物・栄養塩管理実施に向けた季別運転のための手法・フローの提案

季別運転を実施する処理場の水質管理データを収集整理する実態把握により、水質管理における技術課題を抽出している。特に処理場の季別運転の際の運転変更に伴う水質変化に関する調査解析を行い、図-6に示すような水質管理の改善方を提案する予定である。

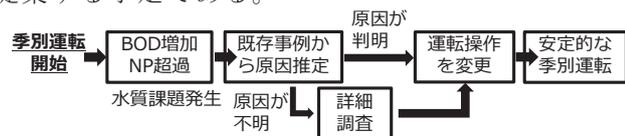


図-6 能動的運転管理における水質管理の改善の流れ

4.3.2 放流先水域の効果的モニタリング手法及び放流先影響の調査方法の開発

センサー等の技術を用いた放流先（図-4のb・c）のモニタリング法の開発が必要であるため、多波

長蛍光センサー、マルチスペクトルカメラ等による効率的な水質把握方法を実験的に検討している。

また、放流先における下水放流水の影響範囲（特に図-4のb）を効果的に把握できるトレーサー物質候補を検討している。

4.3.3 栄養塩供給に伴う有機物負荷量変化も含めた放流先の影響予測・評価技術の構築

上述の研究成果を踏まえ、有機物・栄養塩供給量変化による放流先水質の予測方法や、放流先影響評価に基づき季節別運転へフィードバックを行う方法を構築する予定である。これにより、放流先水域の特性に応じた処理水質の最適化と栄養塩類等の資源活用を促進することとしている。

5. まとめ

グリーンな水質管理について概説し、具体例として、下水処理水の再生水利用と沿岸域への栄養塩類の供給に関する研究の状況を報告した。引き続き、グリーン社会の実現に向けて、水環境インフラにおける水質管理を通じて貢献して参りたい。

参考文献

- 1) 下水道政策研究委員会「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書」、令和4年3月、国土交通省下水道部、公益社団法人日本下水道協会
- 2) 国土交通省気候変動適応計画、平成30年11月
- 3) 国土交通省環境行動計画、令和3年10月
- 4) 第二次国土形成計画（全国計画）、平成27年8月
- 5) 村田里美、鈴木裕識、山下洋正、桐原晃希、高梨啓和、澤井淳；アンモニア酸化細菌を用いた下水中の硝化阻害物質の探索、第57回下水道研究発表会、pp415～417、2020
- 6) 兵庫県栄養塩類管理計画、令和4年10月、兵庫県
- 7) 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説、平成27年1月、国土交通省下水道部、図6-9を一部改変
- 8) 国土交通省下水道部HP、能動的運転管理の効果的な実施に向けた検討委員会、https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000701.htm

山下洋正



土木研究所 流域水環境研究グループ水質チーム 上席研究員、博士（工学）
Dr. YAMASHITA Hiromasa

諏訪 守



土木研究所 流域水環境研究グループ水質チーム 総括主任研究員、博士（工学）
Dr. SUWA Mamoru

平山孝浩



土木研究所 流域水環境研究グループ水質チーム 主任研究員
HIRAYAMA Takahiro

北村友一



土木研究所 流域水環境研究グループ水質チーム 主任研究員、博士（工学）
Dr. KITAMURA Tomokazu