

A下水処理場における段階的 高度処理導入に関する研究

研究第一部 研究員
吉田 聡



1 はじめに

A市では令和6年度までに、市内の下水処理場の増設や改造、再構築に合わせ富栄養化の原因物質とされる窒素やリンの除去を目的とした高度処理化を進めています。本機構では、令和2年度からA市と共同研究を行い、A下水処理場で高度処理化していない系列の一部改造や運転管理の工夫による「段階的・高度処理」の導入及び事業計画への位置づけを検討しました。

令和2年度では、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日付け国下水事第80号）別表2における評価2の内容を決定するために必要な情報を水質管理年報、全体計画や事業計画等の調査により収集・整理しました。また、実証実験（1回目）により評価2における運転方法を調査し、実験結果から課題を整理し、今後の方針を検討しました。令和3年度では、令和2年度の結果を踏まえ、再度実証実験（2回目）を行い、引き続き評価2における運転方法を調査し決定しました。令和4～5年度では、実証実験（評価2）を実施し、本稿ではその内容について報告を行います。

2 研究体制

2.1 研究体制

A市、（公財）日本下水道新技術機構

2.2 研究期間

令和2年度～令和5年度

3 段階的・高度処理の概要

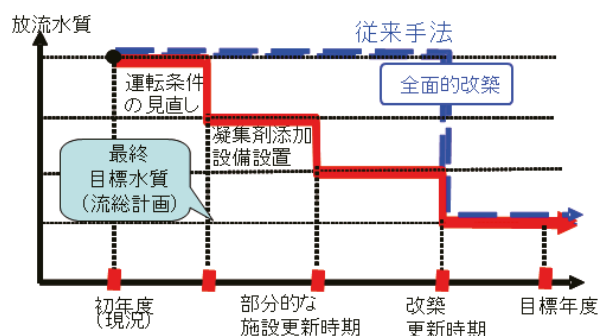
3.1 段階的・高度処理とは

閉鎖性水域の水質改善を実現するためには、富栄養化の原因となる窒素・リン等を除去する高度処理の導入が必要ですが、耐用年数や費用等の問題から全面的な増改築が見込めず、高度処理の導入が進んでいません。そこで、標準活性汚泥法（以下、「標準法」という。）として供用中の施設においても、段階的な施設・設備の改造や運転管理の工夫により、早期かつ安価に高度処理化を図る「段階的・高度処理」を推進し、閉鎖性水域の水質改善を目指す必要があります。

高度処理に係る段階的な施設整備イメージを図－1

表－1 A下水処理場の施設概要

施設概要				現 況	事業計画	
排除方式				合流式	合流式	
処理方法	A 系列	標準法 系列 (7 系列) 今回検討	処理方法		迂回旋回流式 標準活性汚泥法	担体利用 嫌気無酸素好気法
			処理能力 [m ³ /(日・系)]	日最大 合計	－ －	23,700 165,900
		高度 処理系列 (1 系列)	処理方法		担体利用 嫌気無酸素好気法	担体利用 嫌気無酸素好気法
			処理能力 [m ³ /(日・系)]	日最大 合計	－ －	23,700 23,700
	B 系列	高度 処理系列 (4 系列)	処理方法		担体利用 嫌気無酸素好気法	担体利用 嫌気無酸素好気法
			処理能力 [m ³ /(日・系)]	日最大 合計	－ －	32,250 129,000



図－1 高度処理に係る段階的な施設整備イメージ

に示します。「既存施設を活用した段階的高度処理の普及ガイドライン（案）」（平成27年7月，国土交通省水管理・国土保全局）において，段階的高度処理とは，水域の早期改善に向けて，既存施設の一部改造や運転管理の工夫により段階的に高度処理化を図る手法と定義されています。

3.2 段階的高度処理を事業計画に位置づけるプロセス

段階的高度処理を事業計画に位置づけるプロセスには，大きく2つのパターンがあります。1つ目は，容量計算等により高度処理と同等の水質が確保できることを確認し，それを根拠として事業計画に位置づける方法（以下，「容量計算による位置づけプロセス」という。）です。もう一つは，1年間水質の測定・評価（評価2）を行い，それを根拠として事業計画に位置づける方法（以下，「評価2による位置づけプロセス」

という。）です。

容量計算による位置づけプロセスによって，事業計画への位置づけが可能であるかは，既存施設の処理方法及び構造等を確認し，高度処理と「同等の処理原理」が可能か，「最低限必要な構造」であるかを満たすかによって判断します。「同等の処理原理」，「最低限必要な構造」の両方を満たす場合は，容量計算による位置づけプロセスで位置づけが可能ですが，どちらかまたは両方を満足しない場合は評価2による位置づけプロセスで位置づけを行うこととなります。なお，両方満足する場合にも評価2による位置づけは可能です（図-2）。

4 方法

4.1 りん・窒素同時除去の検討

令和2年度に標準法系列のうち1系列を実験池として一部曝気量を絞り，無酸素・嫌気ゾーンを設けた運転（AO及びAOAO運転）を行い，他系列との処理水質の比較を行いました（図-3）。

4.2 課題の整理と運転方法選定

4.1の検討結果と現有施設の構造的な特徴から課題を整理し，運転管理の工夫による高度処理方法を選定しました。また，実証実験に向けた準備として，運転方法の変更に伴う処理水質への影響調査や，実験系列の個別運転データ取得のための検討を行いました。

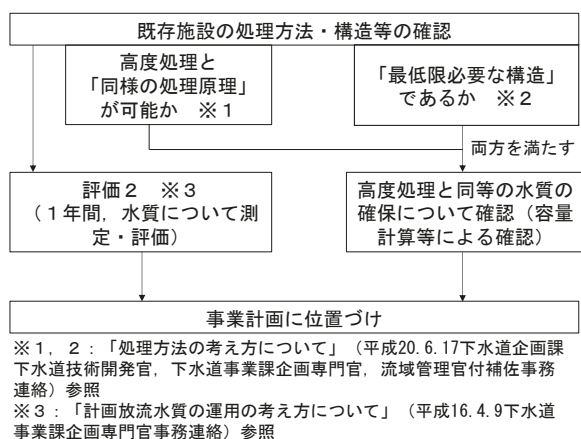


図-2 高度処理に係る段階的な施設整備イメージ

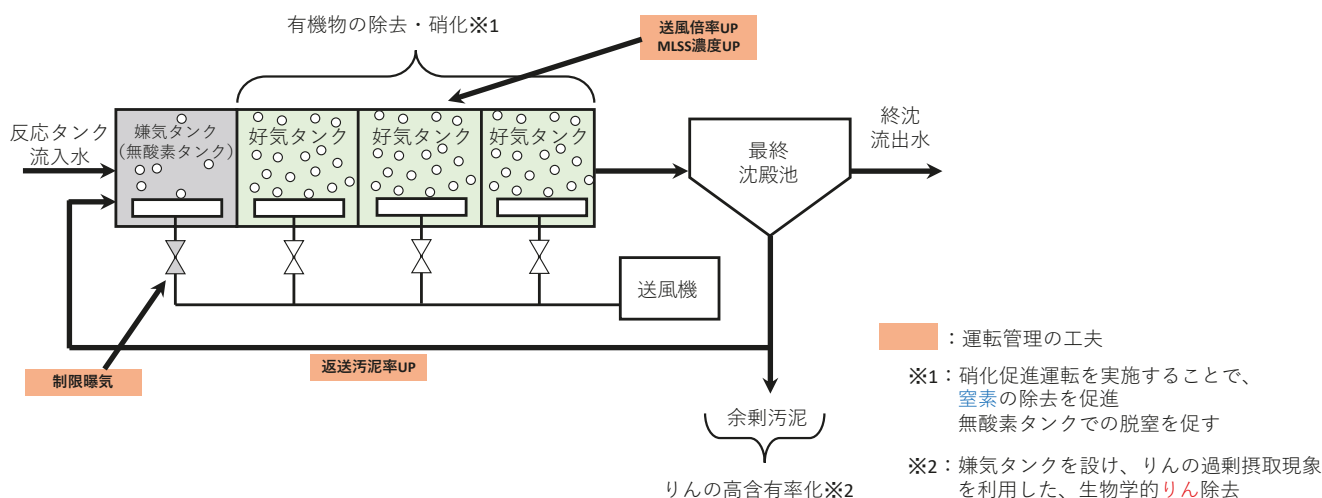


図-3 運転方法の概略（AO運転）

4.3 段階的高度処理による実証実験（評価2）

4.2で選定した運転方法について、A下水処理場の標準活性汚泥法系列（以下、「標準法系列」という。）において、下水道法施行令に基づく実証実験を実施し、処理状況の調査を1年間行いました。

5 結果・考察

5.1 りん・窒素同時除去の検討結果

①りん除去についての評価

令和2年9月～令和3年2月の期間中、AO運転もしくはAOAO運転をした実験系列のT-P処理水質は1.0～2.4mg/Lであり、対照池の処理水質0.9～2.5mg/Lと比較して、りん除去を促進させることができませんでした。実験池の嫌気ゾーンでは、りんの吐出しが概ね良好にできており、好気ゾーンではりんの再取り込みが生じていますが、全体として除去率を向上させるほどではありませんでした。

②窒素除去について

実験池の処理水T-N濃度は8.4～14mg/Lであるのに対し、対照池は8.0～14mg/Lであり、T-N濃度では差は見られませんでした。AOAO運転では、後段の無酸素槽において脱窒反応が確認されました。一方でAO運転時においても高度処理として認められる処理水質（T-N20mg/L以下）を満足できる水質であると考えられました。

5.2 課題の整理

課題①：りん除去の阻害要因

運転状況から「好気ゾーンでのDO不足によるりん蓄積不良」、「返送ラインの混在（標準系運転系列の割合が大きい）で好ましい汚泥優占種となりにくい」、「返送率が高いことによるNO_xの流入」、「SRTが長い」などにより、りん蓄積細菌の増殖不足・活性不足が要因として考えられました。

課題②：窒素除去の阻害要因

「無酸素状態不十分で脱窒速度が低下」、「無酸素ゾーンでの有機物不足（りん蓄積細菌との競合）」、「好気ゾーンでのDO不足による硝化速度の低下」、「返送ラインの混在で好ましい汚泥優占種となりにくい」などが硝化細菌・脱窒の増殖不足・活性不足の要因とし

て考えられました。

課題③：構造上の課題

対象とした標準系設備は、水槽内に隔壁が無いため、嫌気・無酸素ゾーンと好気ゾーンの区分けは困難でした。また、各反応タンクの送風量及び流入水量・返送汚泥量が個別に把握できていない点も課題として挙げられました。反応タンク内に隔壁を設けるとともに、各系列に流量計を設置する等の対策が挙げられますが、反応タンクのドライ化及び大規模な改修が必要となります。

課題④：汚泥集約処理場からの返流水

隣接する汚泥集約処理場からの返流水中に含まれるT-Pの負荷が大きく、令和4年度の実績では、平均601kg/日のT-PがA下水処理場へ返流していました。これは、返流水を除いた流入下水中のT-P（478kg/日）よりも大きいことが判明しました。汚泥集約処理場内でのりん除去率を向上させる方法や高度処理に対応済みのB系列への返流水流入率を増加させるなどの対策方法が挙げられますが、大規模な改修が必要となります。

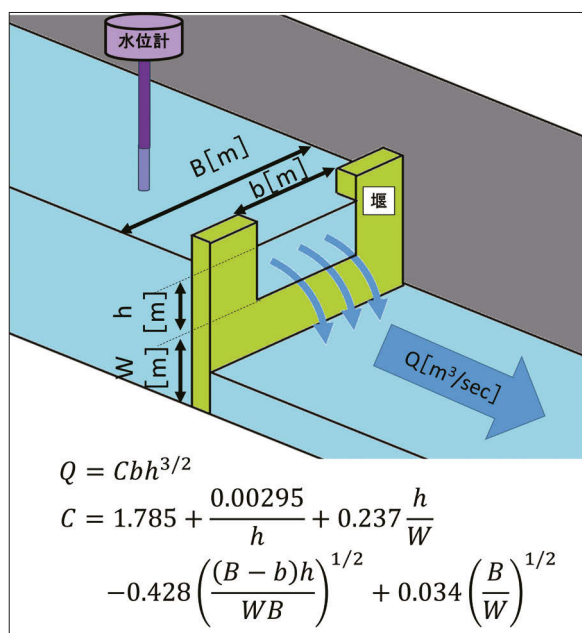
5.3 運転方法の選定

上記①～④の課題のうち施設の構造に由来する課題については、令和6年度までの対応が困難と判断し、運転操作の工夫や後付けの実験計器で対応可能な対策を行った上で、実証実験（評価2）を行いました。

本件ではT-N除去を優先的な目標として、反応タンク前段の曝気量を絞った疑似的な循環式硝化脱窒法を選定し、目標水質は下水道法施行令での循環式硝化脱窒法の計画放流水質BOD15mg/L以下、T-N20mg/L以下（段階的高度処理に位置づけ可能な水質）と設定しました。

また、実証実験に際し処理状況を正確に把握するために、標準法の系列ごとの流入水量、返送汚泥量、送風量の把握が必要であると判断し、実験用の水量計及び風量計を設置しました。反応タンクへの流入水量及び返送汚泥量を把握するために、反応タンク流入部の可動堰前に図-4のように堰式流量計を設置しました。また、連続記録機能付きの水位計を反応タンク流量計測井に設置しました。水位計の計測値を堰の公式で越流量に換算し、1日あたりの流入水量として算出しました。

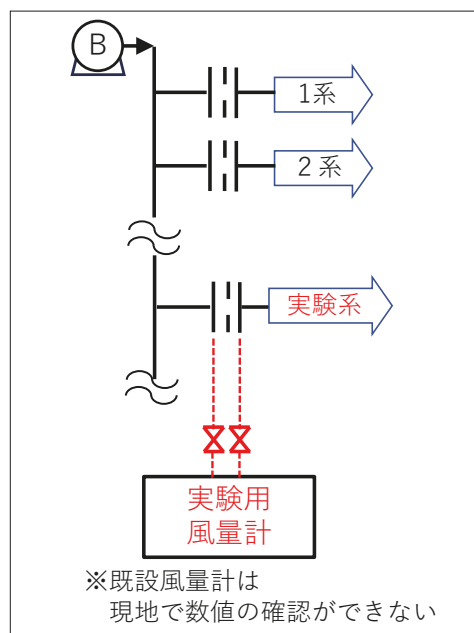
加えて、既設風量計用の空気配管のオリフィスプレートから配管を分岐し、実験用の差圧式風量計を現地に設置しました（図－5 参照）。現地で無酸素ゾーンを設けるために風量調整弁の操作を行う際や、採水の際に適宜送風量を確認し記録しました。



図－4 堰式流量計概略図

5.4 段階的高度処理による実証実験結果

令和5年1月6日から令和6年1月5日までの1年間の実証実験結果を表－2に示します。晴天時の流入水量は設計値の日平均水量と同等（99%）の値であり、目標としていた処理水質のBOD15mg/L以下、T-N20mg/L以下も満足していました（図－6 参照）。

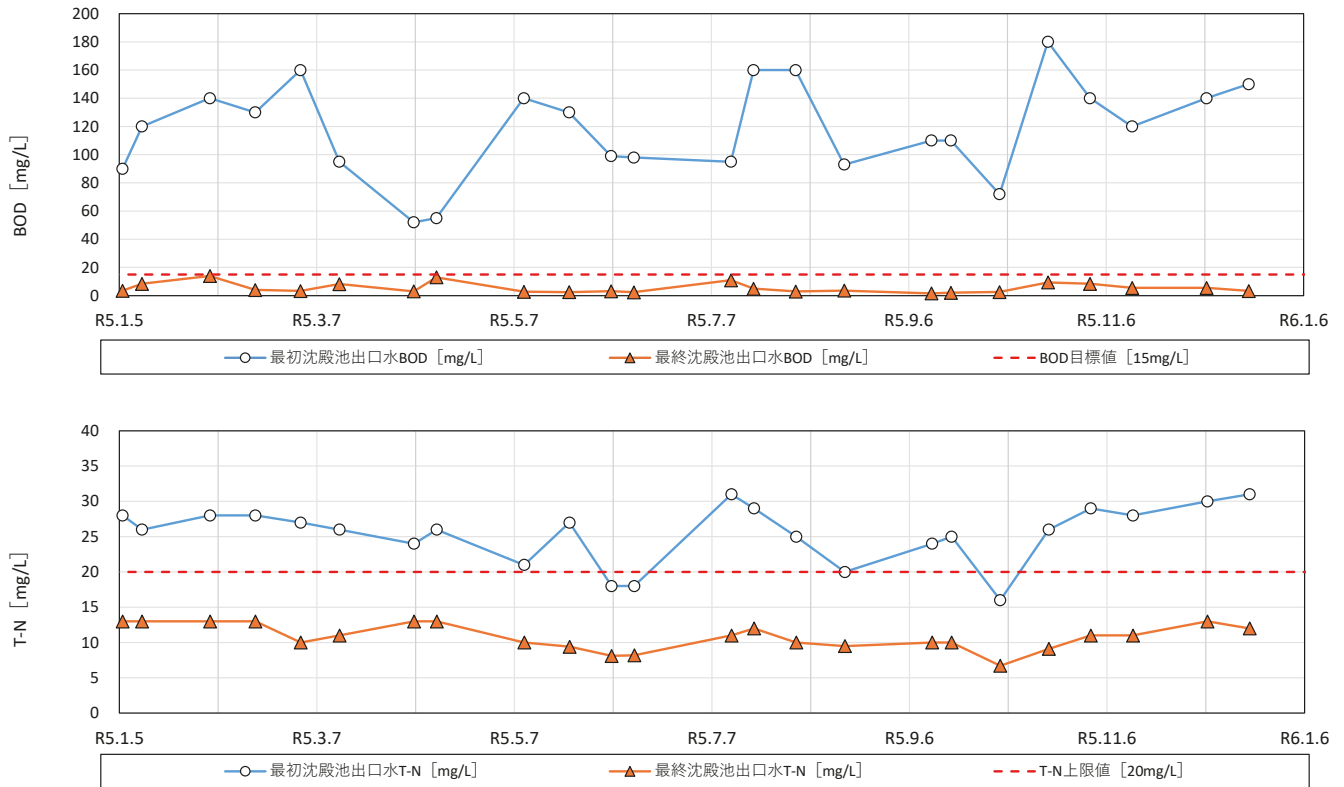


図－5 実験用風量計設置箇所

表－2 実証実験結果（評価2）

		実験値	評価方法	評価結果
実証実験実施場所		A下水処理場 A系列 7系	実施設	－
実証実験実施期間		令和5年1月6日 ～令和6年1月5日	連続する1年以上	達成
流入水量	日最大 [m³/日]	全 日：33,923 晴天時：26,069	設計値の1/2以上 (設計値) 日最大：23,700 日平均：20,000	達成
	日平均 [m³/日]	全 日：20,998 晴天時：19,784		
流入水質	水温 [°C]	24.9 (19.4 ～ 30.7)	測定すること	測定
	pH [-]	6.8 (6.6 ～ 7.0)	測定すること	測定
	SS [mg/L]	37 (26 ～ 54)	測定すること	測定
	BOD [mg/L]	118 (52 ～ 180)	測定すること	測定
	T-N [mg/L]	25 (16 ～ 31)	測定すること	測定
	(参考)T-P [mg/L]	5.2 (2.5 ～ 6.8)	－	－
処理水質	水温 [°C]	25.5 (19.9 ～ 31.3)	測定すること	測定
	pH [-]	7.3 (6.7 ～ 7.7)	測定すること	測定
	SS [mg/L]	1.2 (1未満 ～ 2.0)	測定すること	測定
	BOD [mg/L]	5.4 (1.6 ～ 14)	15以下	達成
	T-N [mg/L]	10.8 (6.7 ～ 13)	20以下	達成
	(参考)T-P [mg/L]	1.1 (0.13 ～ 3.6)	－	－

※水質については、平均値（最小値～最大値）を示す。



図ー6 BOD（上）及びT-N（下）の日平均試験結果

なお、実験期間中の処理水T-Pの最大値は3.6mg/Lであり段階的高度処理に位置づけ可能な濃度（3.0mg/L）を超えていました。一方で令和5年9月以降のT-P濃度は0.6mg/L以下で比較的低い濃度で推移していました。これは汚泥集約処理場で凝集剤の添加量を増加したこと等が要因として考えられました。

A下水処理場が合流式である点や、降雨後に処理水T-P濃度が上昇する懸念があることを鑑み、窒素除去を目的とした高度処理化施設として事業計画（案）に位置づけました。また、運転管理上の留意事項を整理した運転管理マニュアル（案）を作成しました。

6 結論

A下水処理場において標準法系列の運転方法の工夫によるりん除去・窒素除去検討，ならびに流入・処理状況から，適当な段階的高度処理に向けた処理方法を選択し，1年間の実証実験を行った結果，段階的高度処理に位置づけ可能な目標水質を達成することができました。

今後とも，段階的な施設整備や運転管理の工夫，ストックマネジメント計画に基づく施設設備更新等により，流総計画に定める目標水質の達成に向けて取り組んでいく必要があります。