

「硝化抑制運転の特性を踏まえた減菌用薬品の低減に関する調査について」

調査研究報告書（令和7年度）

公益財団法人山梨県下水道公社
峡東浄化センター

1 目的

峡東浄化センターでは省エネやコスト縮減を優先し、窒素処理のための酸素供給を必要としない硝化抑制運転を令和3年度より行っているが、生物化学的酸素要求量（以降「BOD」と称す）や大腸菌数が上昇しやすい傾向が確認されており、減菌剤の次亜塩素酸ナトリウム（以降「次亜塩」と称す）の注入率を高く設定する傾向がある。

また、令和7年度の法改正により、基準値が減菌の指標となる大腸菌群数から大腸菌数に移行されており、基準値の遵守のため両試験項目の相違を把握しながら適切な施設運転を行う必要がある。

本調査研究では、硝化抑制運転における処理水質の特性を把握し、必要薬品量の設定指標に関する調査を行うことで、安定した処理水質とコスト縮減のための適切な薬品注入率の考え方を整理する。

2 峡東浄化センターの運転管理状況について

標準活性汚泥法による水処理施設が整備されている当センターは、平成元年7月の供用開始以降、水生生物等の水環境保全を優先し硝化促進運転を継続してきた。

しかし、国の下水道経営健全化や省エネ推進の背景のもと、消費エネルギー削減と処理水質安定化を両立させるため、この10年程度の期間にて運転方式の改善を進めてきた。

具体的には、平成30年度より処理水質安定化を目的とし冬期の硝化抑制運転を開始し、令和3年度以降は水質とエネルギーの両側面からの評価を経て、硝化抑制運転の通年実施として現在に至っている。

平成28年度から令和7年度までの放流水のアンモニア性窒素の状況について表2-1に示す。

表 2-1 放流水のアンモニア性窒素（H28～R7 度）

	硝化促進		冬期硝化抑制			通年硝化抑制					mg/L
	H28度	H29度	H30度	R1度	R2度	R3度	R4度	R5度	R6度	R7度	
最大	3.08	4.26	11.7	14.2	15.2	17.8	18.8	18.8	17.6	18.7	
最小	0.50	0.29	0.64	1.59	0.77	1.34	10.9	12.0	7.34	10.6	
平均	1.40	1.80	4.60	6.90	6.10	9.70	14.6	14.9	13.2	14.1	

3 大腸菌群数と大腸菌数の比較評価

大腸菌群数の比較対象は、令和7年度と同様に通年硝化抑制運転を行っている令和3年度から令和6年度とし、年間平均値による比較結果を表3-1に示す。

表 3-1 大腸菌群数と大腸菌数の比較（R3～R7 度）

運転方針	通年硝化抑制						推計 存在比
項 目	大腸菌群数 (個/cm3)					大腸菌数 (CFU/mL)	
	R3度	R4度	R5度	R6度	平均 A	R7度 B	B/A
流入水	130,000	160,000	200,000	160,000	160,000	33,000	0.21
終沈水	1,100	3,000	1,900	2,200	2,100	450	0.21
放流水	0	0	1	0	0	0	-

大腸菌群数と大腸菌数の平均値の比から両者の存在比を推計したところ、流入水及び終沈水は共に0.21と、環境省調査¹⁾による放流水の存在比の0.295と比較すると低い傾向が示された。

これらの状況から、法改正の影響による次亜塩注入率の増加は不要と考える。

4 処理水質の特性把握

（1）窒素の処理特性

平成28年度から令和7年度の放流水のアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素の測定結果を図4-1に示す。

アンモニア性窒素、硝酸性窒素で運転方式による相違が示された。

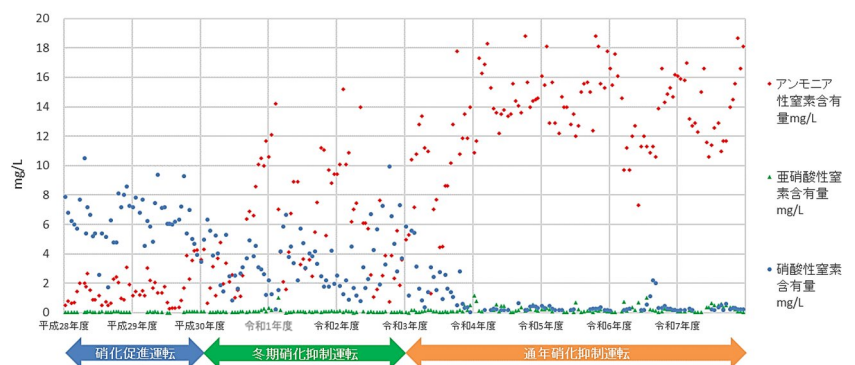


図 4-1 窒素の経年変動

(2) 放流水の BOD の処理特性と次亜塩素酸注入率の関係

平成 28 年度から令和 7 年度の終沈水の BOD 及び C-BOD、放流水の BOD の測定結果を図 4-2 に示す。

終沈水（滅菌前二次処理水）の BOD は、硝化促進運転から冬期硝化抑制運転期間にかけて、主に春期に排水基準である 10mg/L を超える N-BOD に起因する上昇傾向を継続している。通年硝化抑制運転期間では時折高い値は検出されるが季節的傾向は確認できない。

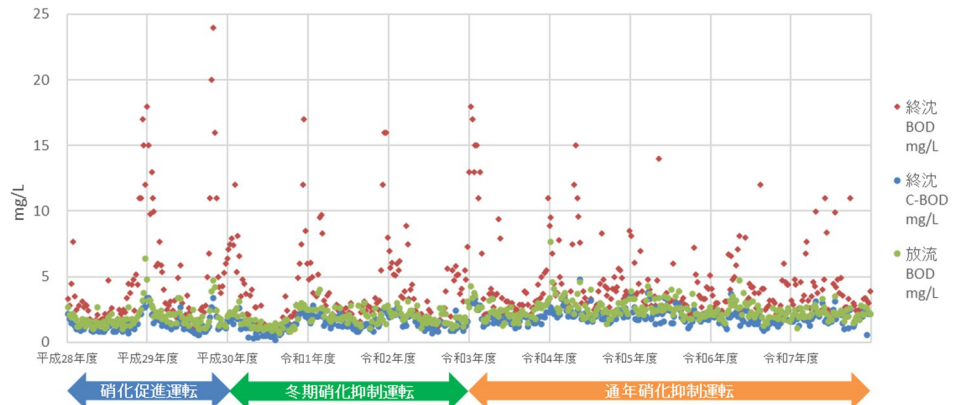


図 4-2 BOD の経年変動

放流水の BOD は、次亜塩素酸の適正注入による滅菌力により、硝化反応の原因となる硝化細菌は失活するため、N-BOD は含まれないことが基本となり、終沈水の C-BOD の測定結果と通常は近い値となる。

しかし、主に硝化抑制期間中に放流水 BOD が上昇する一方で、終沈水 C-BOD は低い値を示すケースが散見され、アンモニア性窒素残存に起因する硝化細菌への滅菌力不足が生じたことが予想される。

図 4-3 に例を示す。

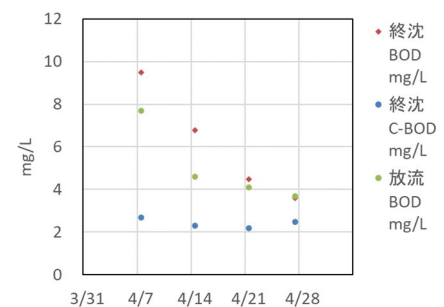


図 4-3 C-BOD 上昇を伴わない例(R4.4)

次亜塩素酸の注入率設定は、運転管理等包括委託の受注者の裁量にて設定されている。

図 4-4 に示す注入率の変動経緯を以下のとおり整理する。

- ・硝化促進運転期間
1.0～1.4mg/L 程度の運用
- ・冬期硝化抑制運転
水質悪化を機に 1.7mg/L 程度まで増加
- ・通年硝化抑制運転
R4 度当初の水質悪化を機に 2.4mg/L 程度まで増加

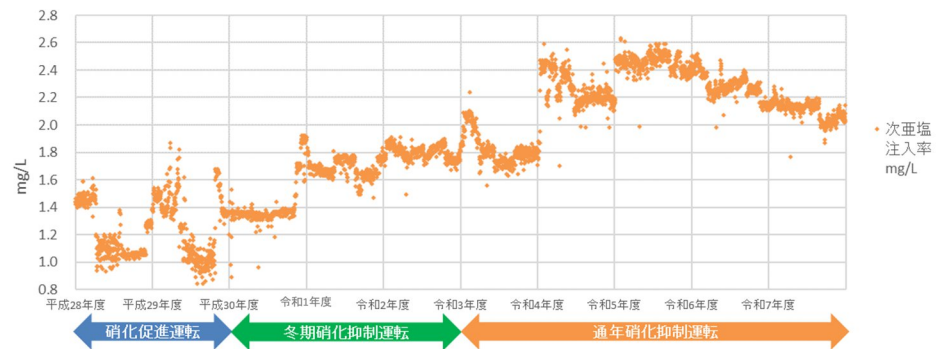


図 4-4 次亜塩素酸注入率の経年変動

この増加傾向は、終沈水 BOD の上昇時に、滅菌力不足による放流水 BOD 上昇を抑制することを目的として、受注者にて BOD 上昇時に次亜塩素酸注入率を高く設定し、その後は予防的に設定を継続する措置としていることを確認している。

この措置に対し、本来の目的である大腸菌の滅菌以外の理由で注入率を高く設定することは、放流河川の水生生態系への影響や薬品コスト面での懸念があることから、適切な注入率設定を行うことを求めてきている。しかし、受注者は過去の放流水 BOD 上昇の経験もあることから注入率の低減措置には慎重な姿勢であり、高注入率が続いている状況にある。課題を次に整理する。

- ①大腸菌数はほぼゼロに近い値を継続しており、大腸菌数を対象とした適正注入率が明らかでない
- ②N-BOD 増加対策としての次亜塩素酸注入率の適正値が明らかでない
- ③次亜塩素酸注入率を増減させる条件が明確でない

5 必要塩素量の把握

(1) 方法

下水試験方法-2012 年版²⁾に記載される「必要塩素量」を参考に、試料に次亜塩を段階的に注入し、大腸菌数及び BOD の減少量を把握し、目標値に到達するのに必要な注入率を求める。

目標値を図 5-1,図 5-2 のイメージで、大腸菌数をゼロ付近、BOD を C-BOD に設定した。

試料は、終沈水に加え、N-BOD が高い傾向にある砂ろ過水槽水の 2 種類とし、同日の放流水を比較した。

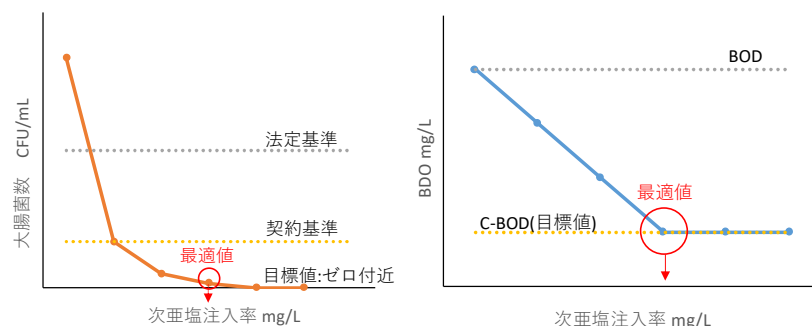


図 5-1,図 5-2 必要塩素量の調査イメージ

(2) 結果

終沈水の調査結果を図 5-3,図 5-4 に、砂ろ過水槽水の調査結果を図 5-5,図 5-6 に示す。

大腸菌数は、初回試験時に最低注入率(0.56mg/L)でゼロに達したため、注入率を再設定し実施した結果を示している。

目標値に対する最適注入率は、大腸菌数は 0.52～0.70mg/L、BOD は 1.25～1.67mg/L を示した。

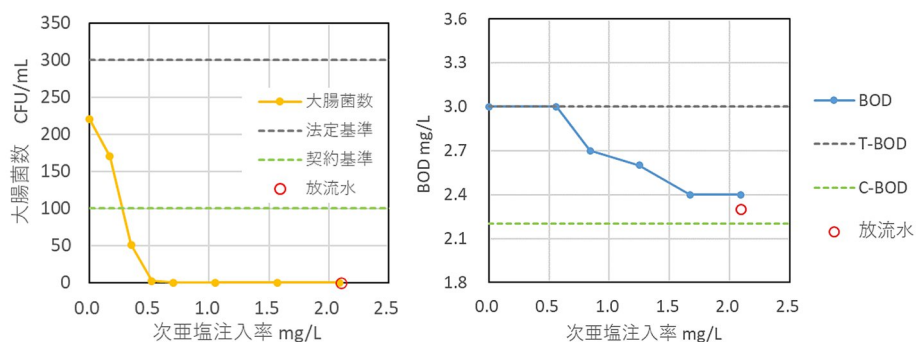


図 5-3,図 5-4 必要塩素量試験結果（終沈水）

砂ろ過水槽水の調査結果を図 5-5,図 5-6 に示す。

目標値に対する最適注入率は、大腸菌数は最低注入率の 0.56mg/L 以下、BOD は最高注入率 2.09mg/L 以上を示した。

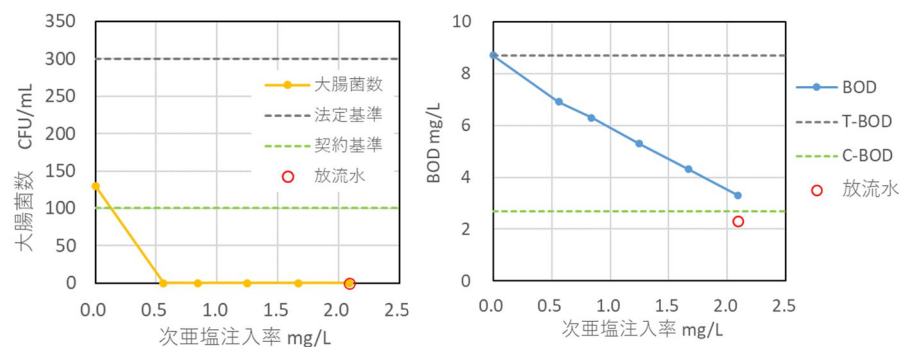


図 5-5,図 5-6 必要塩素量試験結果（砂ろ過水槽水）

(3) 考察

・大腸菌数

試験での最適値が実際の注入率を大きく下回ったことから、水質が安定していれば硝化抑制運転下でも注入率を下げる余地がある。

・BOD

終沈水の N-BOD が 0.8mg/L と低い水準にあったが、段階的な注入による BOD の低減傾向が確認され、実際の注入率より低い最適値を示した。砂ろ過水槽水では注入率と BOD が負の一次相関を示した。

・大腸菌と硝化細菌の塩素耐性

大腸菌数と BOD の注入率最適値を比較することで、硝化細菌は大腸菌よりも次亜塩に耐性があると推察する。

・次亜塩注入率の管理

大腸菌の滅菌目的以外の注入率過剰増加に管理が必要。

表 5-1 注入率最適値の比較

	mg/L	
	大腸菌	硝化細菌
終沈水	0.52～0.70	1.25～1.67
砂ろ過水槽水	<0.56	>2.09

6 運転指標の検討

硝化抑制運転の特性を踏まえ、次亜塩の適切な注入を行うために必要な運転指標について整理する。

(1) 終沈水の透視度

処理水質の悪化は次亜塩の有効塩素を消費し、滅菌力不足を生じる要因となる。

過去の透視度と BOD の状況から、透視度 100cm 以下が注入率増加の目安と考える。

(2) 反応タンク活性汚泥の SVI

当センターでは緩やかに季節傾向的に変動するが、春期を中心に SVI の低下と共に透視度が悪化する傾向にある。状況を図 6-1 に示す。

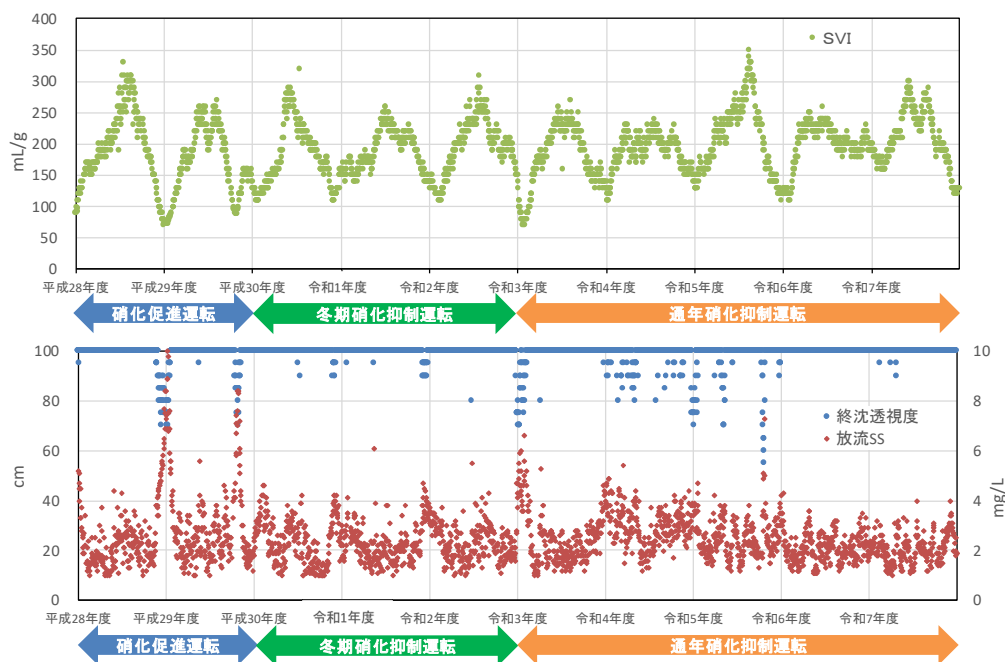
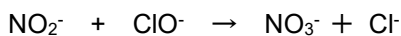


図 6-1 SVI,終沈透視度,放流 SS の経年変動

低下傾向を継続しながら 150mL/g を下回ることが注入率増加の目安と考える。

(3) 終沈水の亜硝酸性窒素

処理水中の亜硝酸性窒素は、次式により次亜塩と反応し、遊離残留塩素が結合残留塩素になることを阻害し滅菌力が低下するため、処理水に亜硝酸性窒素が残留する場合は注意を要する。



この関係から、亜硝酸性窒素 1mg に対し有効塩素 2.53mg が反応し消費されることとなる。

当センターの硝化抑制運転期間中の次亜塩注入率は 1.7mg/L 程度が実績最低水準である。

この設定に対し、大腸菌の必要塩素量の注入率最適値 0.56～0.70mg/L 相当の滅菌力を維持するためには、亜硝酸性窒素濃度を、 $(1.7-0.70)/2.53=0.3952 \rightarrow 0.4\text{mg/L}$ 以下に抑制することが有効であると考ええる。

よって、亜硝酸性窒素 0.4mg/L 以上が注入率増加の目安と考える。

7 運転管理への反映

(1) 運転管理等包括委託受注者への注入率適正化の指導

課題解決を目的として大腸菌数及び BOD の必要塩素量試験を実施し、注入率最適値を算定した結果を受注者に説明し、注入率設定の適正化を指導した。

(2) 次亜塩注入率低減によるコスト縮減

令和 7 年度の実績平均注入率 2.11mg/L から、塩素必要量調査での BOD に係る注入率最適範囲(1.25～1.67mg/L)の最大値 1.67mg/L まで低減したと仮定した場合の、令和 8 年度年間予定流入下水量に対するコスト縮減額は 1,824 千円/年と算定される。

8 まとめ

- ・令和7年度に滅菌指標が大腸菌群数から大腸菌数に変更されたが、両者の存在比の推計結果などから指標変更に伴う次亜塩素酸注入率の増加は不要と考える
- ・主に硝化抑制期間中に放流水 BOD が上昇する一方で、終沈水 C-BOD は低い値を示すケースが散見され、アンモニア性窒素残存に起因する硝化細菌への滅菌力不足が生じたことが予想された
- ・滅菌用薬品の使用量増加は、運転管理等包括委託受注者の裁量により BOD 抑制のために注入率を上げていることが主な要因である
- ・大腸菌数及び BOD を対象に必要な塩素量を調査し、実際の注入率よりも低い注入率最適値が示され、実際の注入率の低減が期待できる結果が得られた
- ・本調査結果を根拠に適切な注入率設定を行うよう是正することで、滅菌用薬品の使用量の低減が期待できる

引用文献

- 1) 環境省, 令和5年度大腸菌群数の排水基準の見直しに係る検討会, 資料4, 2023
- 2) 公益社団法人日本下水道協会, 下水試験方法-2012年版, 2012

○専門用語解説（五十音順）

用 語	解 説
あしょうさんせいちつそ 亜硝酸性窒素	アンモニアが硝酸になる途中で生成される物質。次亜塩素酸ナトリウムと激しく反応し、その滅菌力を奪う。
あんもにあせいちつそ アンモニア性窒素	し尿などに含まれる成分で、水のおいや汚れの原因の一つ。
えすえす SS	浮遊物質量（Suspended Solid） 水中に浮遊する物質の量を示す。対象となるのは、水中に浮いている粒径2mm以下の不溶性物質。水中の生物の生息環境や水生植物の生育に影響を与えるおそれがある。
えすぶいあい SVI	汚泥容量指標。活性汚泥の沈みやすさを示す数値。これが下がり続けると泥のキレが悪くなり水質が下がる。
えぬびーおーでい N-BOD	窒索性BOD。BODの値のうち、水中に残ったアンモニアなどが硝化細菌によって酸化される際の酸素量。
えんそ ようきゅうりょう 塩素要求量	消毒用の塩素がアンモニアや有機物と反応した後、消毒効果の高い「遊離残留塩素」が現れるまでに必要な量。
かつせいおでい 活性汚泥	汚水をきれいにするために、たくさんの種類の微生物が集まってできた泥の塊のこと。
こうどしより 高度処理	通常の処理では取り除きにくい窒素やリンなどを、既存の池や微生物の働きを工夫してさらに除去すること。
しーえふゆーみりっりつとる CFU/mL	大腸菌などの細菌数を表す単位。菌を培養したときにできた塊（コロニー）の数を意味する。
しーびーおーでい C-BOD	炭索性BOD。BODの値のうち、アンモニアではなく「有機物の汚れ」の分解に使われた酸素量のこと。
しゅうちんすい 終沈水	最終沈殿池の水。反応タンクの処理後の活性汚泥をゆっくり流して沈める池、ほぼ透明になった処理途中の水。
しょうかさいきん 硝化細菌	水中のアンモニアを亜硝酸や硝酸へと変化（酸化）させる微生物。大腸菌よりも塩素に強い耐性を持つ。
しょうかそくしんうんてん 硝化促進運転	微生物に十分な空気を送り、水中のアンモニア性窒素を亜硝酸や硝酸へ積極的に酸化させる運転方法。
しょうかよくせいうんてん 硝化抑制運転	微生物の働きによってアンモニアを別の成分に変える「硝化」の進行を抑え、送風機（ばっ気）の電力使用量などを削減する省エネ型の運転方法。
しょうさんせいちつそ 硝酸性窒素	アンモニア性窒素が微生物によって完全に酸化された最終形態。硝化促進運転を行うとこの値が高くなる。
だいちようきんぐんすう 大腸菌群数	下水に含まれる大腸菌と似た性質を持つ細菌の数。水の中に人や動物の排せつ物による汚染がないかを確認するための指標だが、自然界にいる無害な菌も含まれる。従来の排水基準として用いられていた。
だいちようきんすう 大腸菌数	下水に含まれる大腸菌そのものの数。水の中に人や動物の排せつ物による汚染がないかを確認するための指標。令和7年度の法改正で新たな排水基準となった。
とうしど 透視度	水底に置いた標識がどれだけハッキリ見えるかをセンチメートルで測り、水の透明度を表したもの。
びーおーでい BOD	生物化学的酸素要求量（Biochemical Oxygen Demand） 水中の汚れを微生物が分解するときに消費する酸素の量で、代表的な水質汚濁指標。
ひょうじゆんかつせいおでいほう 標準活性汚泥法	微生物を含んだ泥（活性汚泥）に空気を吹き込み、汚れを食べさせて水をきれいにする代表的な下水処理法。
ほうりゅうすい 放流水	施設ですべての処理を終え、最後に滅菌消毒をして川へ流す水。