

調査研究事業報告書

令和4年3月

公益財団法人 広島県下水道公社

目

次

- 1 汚泥処理工程からのりん除去について -----1
（太田川東部浄化センター）
- 2 幹線水質調査について -----6
（太田川東部浄化センター）
- 3 芦田川浄化センターの流入水に関する考察（塩化物イオン濃度） -----8
（芦田川浄化センター）
- 4 沼田川浄化センターにおける放流水中の N-BOD の増加予防対策 -----11
（沼田川浄化センター）

1 汚泥処理工程からのりん除去について

(公財) 広島県下水道公社業務部水質課 福田 佳之

1 はじめに

平成 29 年から平成 31 年の調査研究事業報告書において、「流入水の約 7 割相当の量のりんが処理工程内で循環している結果となっており、りん除去の対策を行わないと、りんの放流水排出基準を超過することが考えられる。」、その対策として「消化汚泥を曝気することにより pH を上昇させること。また、消化汚泥に海水を添加し、マグネシウムを補い、りん酸マグネシウムアンモニウム（以下、MAP という。）を生成させ、脱水ケーキとして処理系外に排出する方法」について報告した。

令和 2 年 3 月に汚泥貯留槽の攪拌用空気配管（以下、空気配管という。）の修理が終わり、十分な攪拌ができるようになり、脱水機供給汚泥の pH を上昇させることが可能となった。実際に令和 2 年 10 月から 1 か月程度汚泥貯留槽の液位を高く管理し pH を上昇させることにより、脱水ケーキに多くの MAP を目視することができた。

これらのことにより、マグネシウム源を添加することなく、供給汚泥の pH を上昇させることのみにより MAP 生成がどの程度まで可能か、脱水ケーキとしてりんをどの程度処理系外に排出することが可能か調査したので報告する。

2 調査方法

脱水機供給汚泥及び脱水ケーキ、脱水ろ液について、下水道試験方法に準拠した硝酸と塩酸による加熱溶出法を用いた前処理を行い、ICP 発光分光分析法により、りん、マグネシウム、カルシウムを同時測定した。

3 調査内容

(1) 脱水機供給汚泥 pH の推移について

脱水機供給汚泥の pH について、採泥時間が同じ時間帯で、空気配管の修理前の平成 29 年と修理後の令和 2 年と 3 年の 9 月～12 月の間を比較した。

図 1 に脱水機供給汚泥 pH の変化を示す。空気配管修理前は攪拌が十分でな

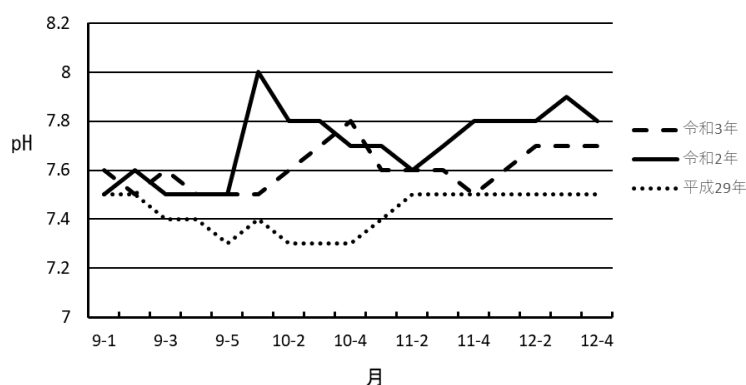


図 1 pH の推移

く、pH の平均は 7.4 (7.3～7.5) であった。修理後の 9 月の pH は 7.5～7.6 で平成 29 年よりわずかに高い程度であった。令和 2 年 10 月から汚泥貯留槽の液位を高く管理した場合には一時 8.0 まで上昇し、10 月以降の pH の平均は 7.8 (7.6～8.0) と高くなった。令和 3 年には 12 月から pH の上昇を期待して汚泥貯留槽の液位を高く管理したが pH の平均は 7.7 (7.6～7.7) であった。なお、平成 30 年度の調査研究において汚泥貯留槽の容積とブロワーの能力から計算した風量で曝気した場合の消化汚泥の pH の変化について調査しており、

令和3年12月の脱水機供給汚泥のpH7.6~7.7は消化汚泥を4時間曝気した後に相当していた。pHを8以上にするためには、汚泥貯留槽において5時間以上の滞留時間が必要と考えられた。

(2) 測定結果

表1 測定結果

		脱水機供給汚泥 (mg/L)	脱水ケーキ (%)	脱水ろ液 (mg/L)
りん	平均値	588	2.81	214
	最大値	650	3.67	230
	最小値	520	2.20	164
マグネシウム	平均値	106	0.84	6
	最大値	150	1.58	18
	最小値	90	0.55	2
カルシウム	平均値	242	1.67	15
	最大値	280	1.81	24
	最小値	210	1.43	10

平成29年度調査と比較すると、脱水機供給汚泥のりん濃度は約7割に減少していた。また、最大値と最小値の比は約1.6倍から約1.3倍に減少していた。マグネシウム濃度については、約6割に減少していた。また、最大値と最小値の比は約2.2倍から約1.7倍に減少していた。脱水ケーキのりん濃度は約8割に減少していた。なお、最大値と最小値の比は約1.4倍から約1.7倍に拡大していた。脱水ろ液のりん濃度は約8割に減少していた。また、最大値と最小値の比は約1.3倍と約1.4倍と同程度であった。マグネシウム濃度は約4割に減少していた。なお、最大値と最小値の比は約1.8倍から約9倍に拡大していた。

(3) 脱水ケーキ中のマグネシウム及びカルシウムとりの関係

平成29年度調査において消化汚泥を1時間曝気（エアポンプの能力の1/1~1/3）した時点で、pHが7.8、ろ液中のマグネシウム濃度が曝気前の30mg/Lから9mg/Lまで低下した。曝気を続けた場合、4時間後pHが8.5まで上昇し、マグネシウム濃度は3mg/Lまで低下し、その後ろ液中のマグネシウム濃度はほとんど変化しなかった。マグネシウム濃度がほとんど変化していないにもかかわらずりん濃度は低下したため、MAP生成以外にヒドロオキシアパタイト（以下、HAPという）の生成も考えられたことから、今回の調査ではカルシウムについても調査した。

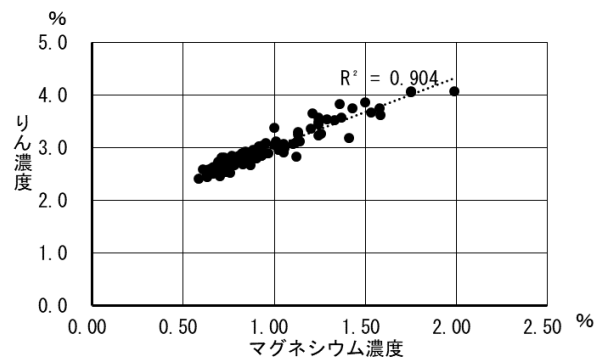


図2 脱水ケーキ中のマグネシウムとりの関係

図2に脱水ケーキ中のマグネシウム濃度とりん濃度の関係を示す。この図は平成29年度の調査結果と令和3年度の調査結果を合わせたものである。この図のとおり脱水ケーキ中のマグネシウム濃度とりん濃度は高い相関 ($R^2=0.904$) があり、マグネシウムがりん除去に関して重要な役割を持っていることが確認された。なお、平成29年度調査における相関 ($R^2=0.647$) は今回の調査時と比較し、あまり高くなかった。原因としては、空気攪拌が十分でなかったため、マグネシウムとりんの反応が十分でなかったことからと考えられる。

図3に脱水ケーキ中のカルシウム濃度とりん濃度の関係を示す。脱水ケーキ中のカルシウム濃度とりん濃度の相関 ($R^2=0.0385$) はなかった。

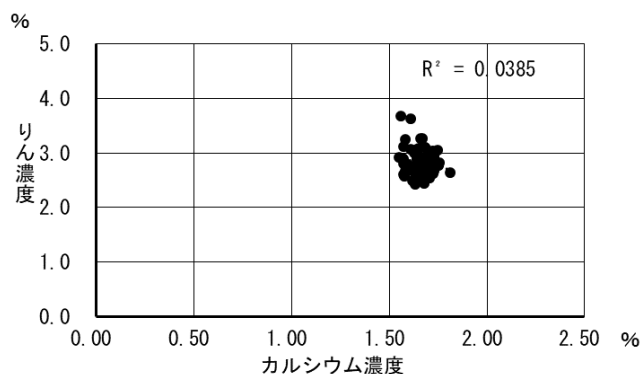


図3 脱水ケーキ中のカルシウムとりんの関係

(4) 脱水機供給汚泥のpHと脱水ろ液中のマグネシウム及びカルシウムの関係について

図4に脱水機供給汚泥のpHと脱水ろ液のマグネシウム濃度の関係を示す。平成29年度の結果を●で令和3年度の結果を×で示す。脱水ろ液のマグネシウム濃度は平成29年度は2号機の値、令和3年度は1～4号機の平均値を用いた。令和3年度の脱水機供給汚泥のpHと脱水ろ液のマグネシウム濃度には負の相関 ($R^2=0.6491$) があると考えられる。なお、平成29年度と令和3年度の差は、脱水機供給汚泥中のマグネシウム濃度の差と考えられる。

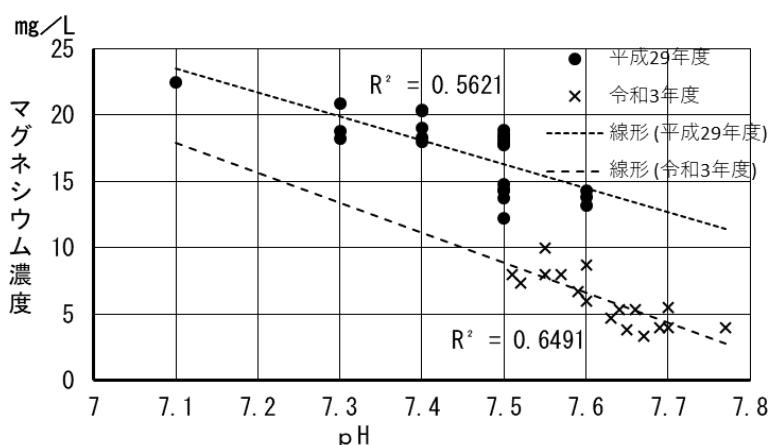


図4 脱水機供給汚泥のpHと脱水ろ液中のマグネシウムの関係

図5に脱水機供給汚泥のpHと脱水ろ液のカルシウム濃度の関係を示す。脱水ろ液のカルシウム濃度は1～4号機の平均値を用いた。脱水機供給汚泥のpHと脱水

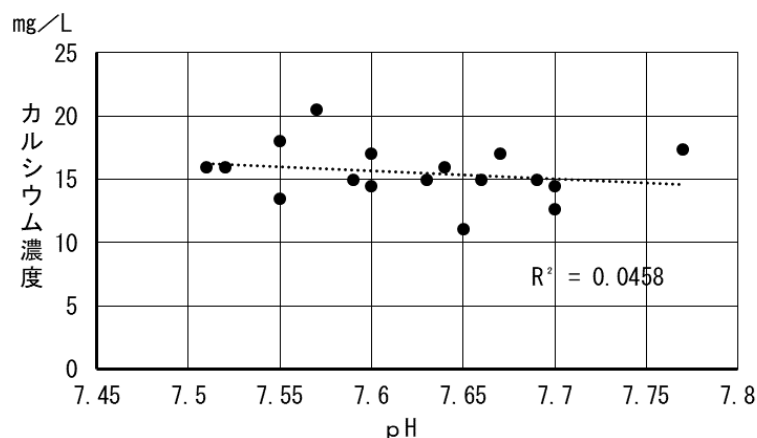


図5 脱水機供給汚泥のpHと脱水ろ液中のカルシウムの関係

ろ液のカルシウム濃度には相関 ($R^2=0.0458$) はなかった。

(5) リンの収支について

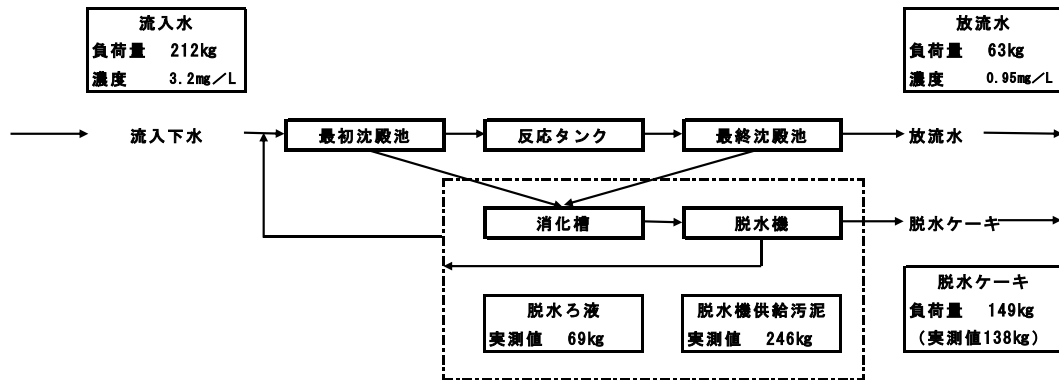


図6 I系水処理・汚泥処理におけるりんの物質収支

図6にりんの収支を示す。流入水は令和3年4月～12月の間の精密試験の結果を用いた。放流水は全りん自動測定器の計測値を用いた。脱水ケーキは流入水負荷から放流水負荷を差し引いたものとした。平成28年度調査時と比べ流入水の負荷量は1日当たり231kgから212kgに減少していた。放流水として排出されるりんの量は50kgから63kgに増加していた。脱水機供給汚泥の負荷量は308kgから246kgに減少し、脱水ケーキとして排出される量は179kgから149kgに減少していた。また、脱水ろ液の負荷量も88kgから69kgに減少していた。

4 考察

- ・脱水ケーキ中のマグネシウム濃度とりん濃度には高い相関があり、また、脱水機供給汚泥のpHと脱水ろ液のマグネシウム濃度には負の相関があった。このことは、脱水ケーキとしてりんが排出されるためにはマグネシウムが必要で、また、脱水機供給汚泥のpHが関与していると考えられる。
- ・脱水ケーキ中のカルシウム濃度とりん濃度には相関がなく、また、脱水機供給汚泥のpHとカルシウム濃度にも相関がなかった。このことは、調査期間中の供給汚泥のpHが平均7.6(7.5～7.8)と低く、一般的なHAP晶析法で必要とされるpH9～10¹⁾まで上昇しなかったため、HAP生成に利用されなかったためと考えられる。
- ・脱水ケーキとしてりんを排出させるためには脱水機供給汚泥のpHを上昇させる必要があり、pHを上昇させるためには貯留槽の液位を上げて管理する必要がある。なお、HAP生成に必要なpHを8以上にするためには汚泥貯留槽の滞留時間を5時間以上にする必要があると考えられる。
- ・脱水機供給汚泥のりん濃度が平成29年度調査時より約7割に減少しており、また、りんの負荷量も約8割となっていたことから、処理工程内で循環しているりんの負荷量は減少していると考えられる。令和2年の脱水機供給汚泥のpHが高かった時期に系外に排出されたか、もしくは、流入負荷の減少によるものかは分からなかった。なお、脱水ケーキ及び脱水ろ液のりんの負荷量も平成28年度調査時の約8割となっていた。

5 まとめ

今回、脱水機供給汚泥のpHを7.8までしか上昇させることができなかった。この原因として、

①汚泥貯留槽の清掃 1 か月後頃に pH が上がると考えており、汚泥貯留槽の液位が pH に関係しているとは考えていなかった。

②令和 3 年 12 月から供給汚泥ポンプの配管閉塞が相次ぎ、また、攪拌ブロワーも汚泥貯留槽内の MAP により閉塞があったため、貯留槽を底引きして汚泥貯留槽に MAP が堆積することを防いでいる。このことから滞留時間が短くなっている。

ことが考えられる。昨年度のような状況を作ることができなかったため、MAP による除去がどこまで可能か、また、HAP による除去は可能なのか調査できなかった。今後は、どのような方法で脱水機供給汚泥の pH を上昇させることができるか、また、pH を上昇させた場合、りんやマグネシウム、カルシウムはどのように変化するか、時間帯による変化はどうか等について調査を継続したい。

参考文献

- 1) 東京都下水道局 (2004) 東京都下水道局技術年報

2 幹線水質調査について

(公財)広島県下水道公社業務部水質課

1 はじめに

太田川流域下水道東部浄化センターは、1市4町からの下水を処理する終末処理場である。幹線管渠には流城市町からの下水の受口が数多くあり、流入水質に異常が確認された場合、異常水発生区域の特定が困難な状況であるため、平成23年度から流量計を設置している11箇所において、年2回の採水調査を行っている。

今年度も金属等13項目について調査を行ったので、その結果を報告する。

2 調査概要

(1) 調査期間

令和3年5月、12月

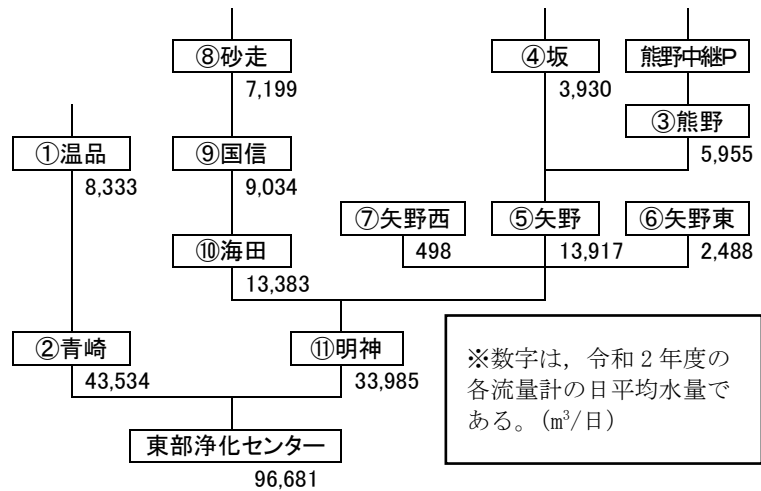
(2) 調査箇所

流量計設置人孔11箇所

(図1)

(3) 調査項目

表1の13項目



3 調査結果

(1) 流量計設置箇所での調査結果

図1 流量計設置箇所

2回の幹線別水質調査結果を表1に示す。

下水道排除基準を超過した項目はなく、数値は過去の調査結果と似た傾向を示した。

令和2年度の当浄化センター流入水質と比較して、その範囲を大きく超えた数値が計測された調査箇所及び濃度は、塩化物イオンの12月については、⑤矢野が620mg/Lで、海水に含まれる硫酸イオンも130mg/Lと高いため、海水の浸入が考えられる。

また、⑩海田において水銀が0.0006mg/L検出されている。

表1 令和3年度幹線別水質調査結果

	安芸 ①温品	安芸 ②青崎	熊野 ③熊野	坂 ④坂	坂 ⑤矢野	坂 ⑥矢野東	坂 ⑦矢野西	瀬野川 ⑧砂走	瀬野川 ⑨国信	瀬野川 ⑩海田	瀬野川 ⑪明神	R2年度 流入水質 () 平均値
採水 月日	5/12 12/9	5/11 12/8	5/10 12/10	5/10 12/10	5/14 12/7	5/14 12/7	5/14 12/7	5/13 12/8	5/12 12/9	5/11 12/6	5/13 12/6	
採水 時刻	15:00 15:10	15:30 15:00	14:30 14:10	10:30 11:00	15:00 14:20	14:40 14:30	14:20 14:40	10:00 10:30	10:30 10:30	10:30 10:30	15:00 15:05	
水素イオン 濃度	7.4 7.6	7.3 7.5	7.2 7.2	7.3 7.5	7.2 7.2	7.4 7.4	7.2 7.7	7.4 7.2	7.4 7.2	7.4 7.5	7.3 7.3	7.1~7.4 (7.3)
浮遊物 質量	130 120	110 130	91 230	56 110	95 140	120 49	200 110	220 220	230 190	290 160	160 130	71~170 (130)
化学的酸素 要求量	110 100	110 110	130 140	90 96	95 100	120 94	100 140	160 170	170 150	170 140	130 120	67~130 (100)
硫酸 イオン	15 17	39 32	19 22	69 64	33 130	14 14	22 23	16 28	25 18	18 19	43 79	

塩化物イオン	36	180	53	440	120	37	40	36	39	38	180	97~280 (180)
	35	150	50	410	620	39	60	41	35	37	410	
全水銀	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND~ND
	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.0006	ND	
シアン	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND~ND
	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
カドミウム	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND~ND
	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
鉛	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND~ND
	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
ヒ素	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND~ND
	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
亜鉛	0.05	0.06	0.10	0.06	0.06	0.05	0.04	0.08	0.11	0.12	0.12	0.09~0.15 (0.12)
	0.05	0.06	0.07	0.06	0.06	0.05	0.06	0.09	0.07	0.09	0.13	
銅	0.02	0.02	0.10	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02~0.04 (0.03)
	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
全クロム	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND~ND
	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

単位：水素イオン濃度を除いて mg/L, ND：検出せず（定量下限値未満）

表中の数値は、上段が5月、下段が12月の測定値である。

(2) 幹線の傾向について

例年、浮遊物質が⑧砂走、⑨国信、⑩海田の海田幹線において高い傾向にある。

塩化物イオンが④坂、⑤矢野、⑪明神において高い傾向にあり、同様に硫酸イオンも高いことから、坂幹線に海水が混ざっていると考えられる。

亜鉛及び銅については、浄化センター流入水を含め、いずれの調査箇所においても値が検出される。下水道への排除基準は下回っているが、高い数値が検出される箇所がある。

水銀が⑩海田において0.0006mg/L 検出されている。下水道への排除基準は下回っているが、通常検出されていない箇所であるため、県流域下水道課に報告を行っている。

4 おわりに

昨年度は、新型コロナウイルスの感染拡大防止のため調査を行わなかったため、2年ぶりの調査となった。

今回の調査では、下水道への排除基準を超えるような下水はみられなかったが、当センターの流入水と比較して、やや高い数値も計測された。

浄化センターに流入する金属類の多くは、下水処理の過程で発生する汚泥に蓄積される。

発生した汚泥は、セメント製造、肥料製造の原料に再資源化されるため、浄化センターに流入する有害金属等の減量が望まれる。

今後も、下水処理場から発生する汚泥管理及び幹線への海水等不明水の浸入情報を得るため、モニタリングを継続していきたい。

3 芦田川浄化センターの流入水に関する考察（塩化物イオン濃度）

（公財）広島県下水道公社 福山支所水質課

渡辺 毅

島埜武虎

村上智彦

1 はじめに

芦田川浄化センター流入水の塩化物イオン濃度が、平成 29 年から徐々に上昇傾向を示していたことから、令和元年度に調査・研究したところ、箕島町・箕沖町のエリアから海水が流入している可能性が高いという結論を得た。

福山市上下水道局は、下水道へ流入する不明水を調査したところ、箕沖町で市道に埋設された下水道福山市本管に海水が流入している個所を発見し、修繕工事により海水の流入は停止できたと考えている。

その後の流入水について、海水等の影響の把握に努めた。

2 調査方法

- (1) 流入水塩化物イオン濃度の変化
- (2) 海水流入改善後の流入水
- (3) 通日調査

3 調査結果

(1) 流入水塩化物イオン濃度の変化

図 1 に示すとおり、平成 29 年初旬から、塩化物イオン濃度の上昇が認められる。測定日により塩化物イオン濃度変化が大きく、満潮時の水位が高い時に塩化物イオン濃度は高い。令和 2 年 12 月頃から海水の流入は改善されたと判断できる。

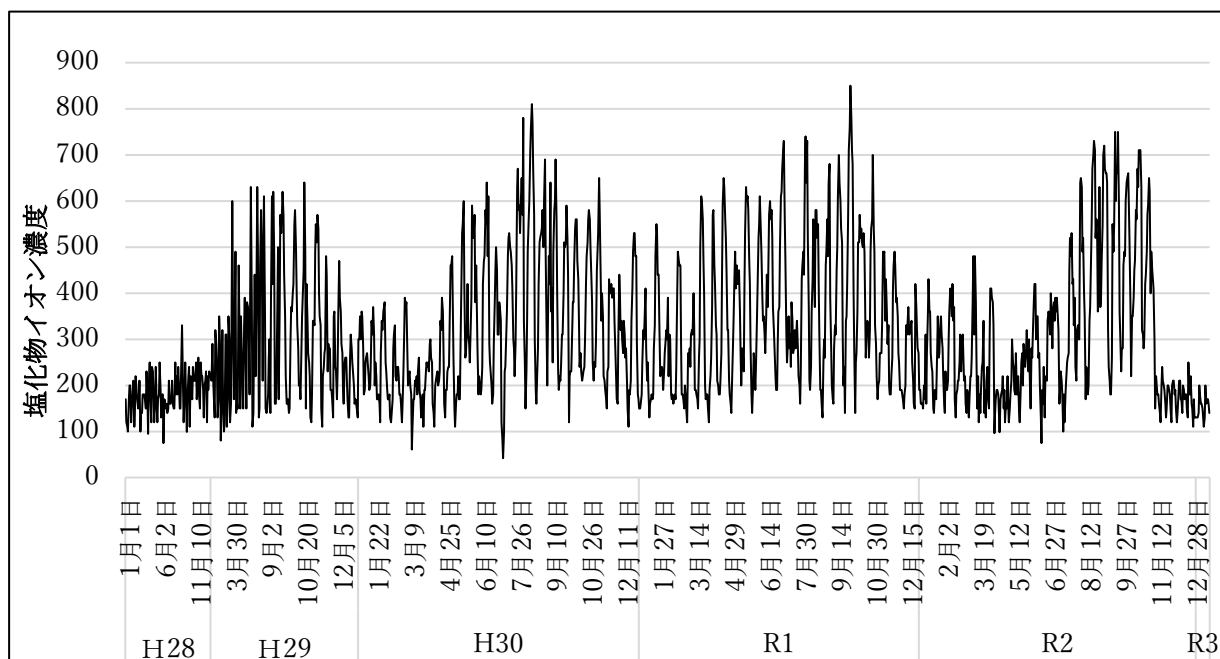


図 1 流入水塩化物イオン濃度（平成 28 年 1 月～令和 3 年 12 月）

(2) 海水流入改善後の流入水

令和2年12月以降の流入水塩化物イオン濃度の動向を拡大して図2に示す。これまでのような異常に高い濃度を示さないが、塩化物イオン濃度は上下を繰り返しており、300mg/Lを超過する時もある。

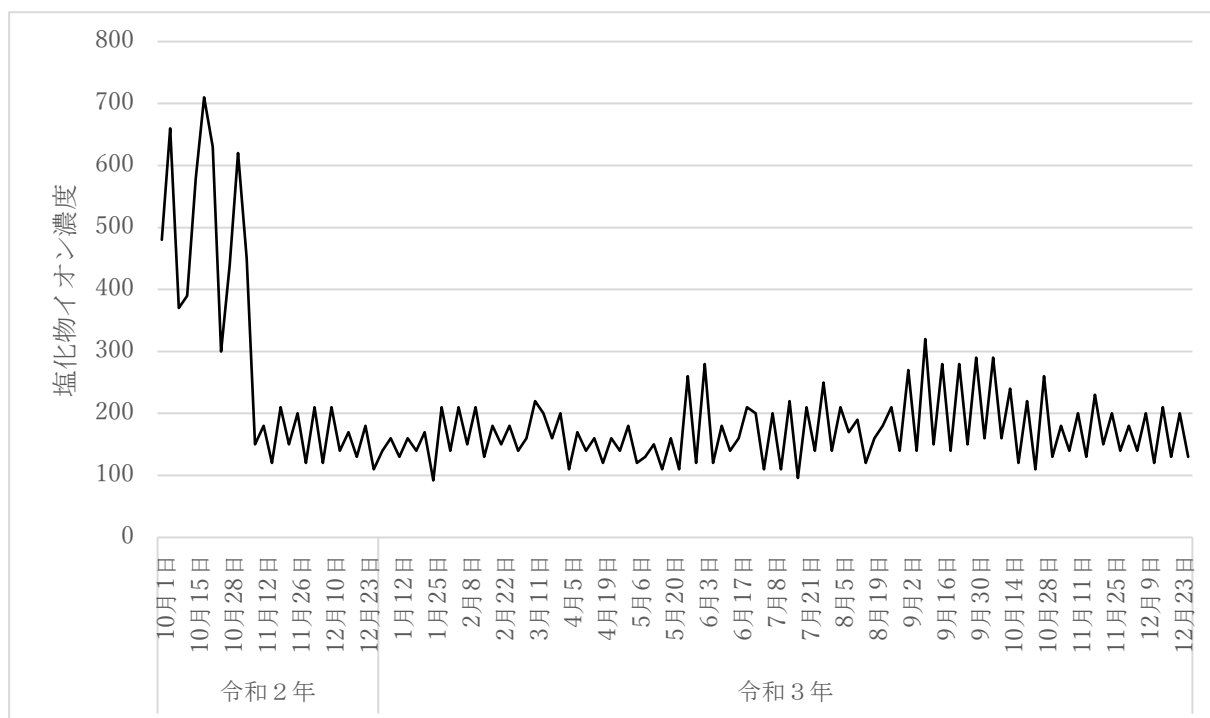


図2 改善工事終了後から令和3年12月 塩化物イオン濃度

(3) 通日調査

図3に示すとおり、平成30年度・令和元年度、通日調査時の塩化物イオン濃度変化は、明らかに干満による海水の影響を受けており、1日に2回濃度が上昇していた。令和2年度以降は変化が少なく、海水の影響が認められなくなった。

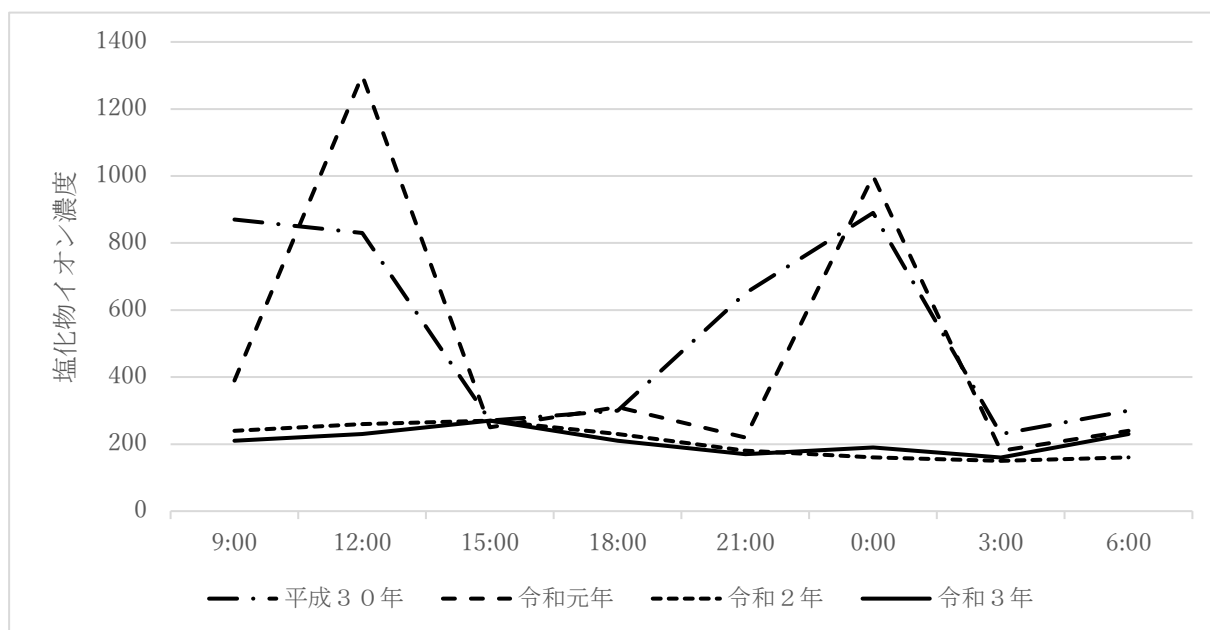


図3 通日調査流入水 (塩化物イオン)

図4に示す令和3年11月の通日調査では、流入水の塩化物イオン濃度は、最大値 270mg/L、最小値 160mg/L と変化しているが、処理工程中に返送工程があるため、放流水は約 200mg/L 前後で安定している。

流入水の塩化物イオン濃度の変化は、人の生活に伴うものの他、事業活動によるものであり、午前6時前から上昇し午後6時は減少傾向を示し、午後9時は大きく減少している。こうした変化は事業活動の影響が大きいと考える。

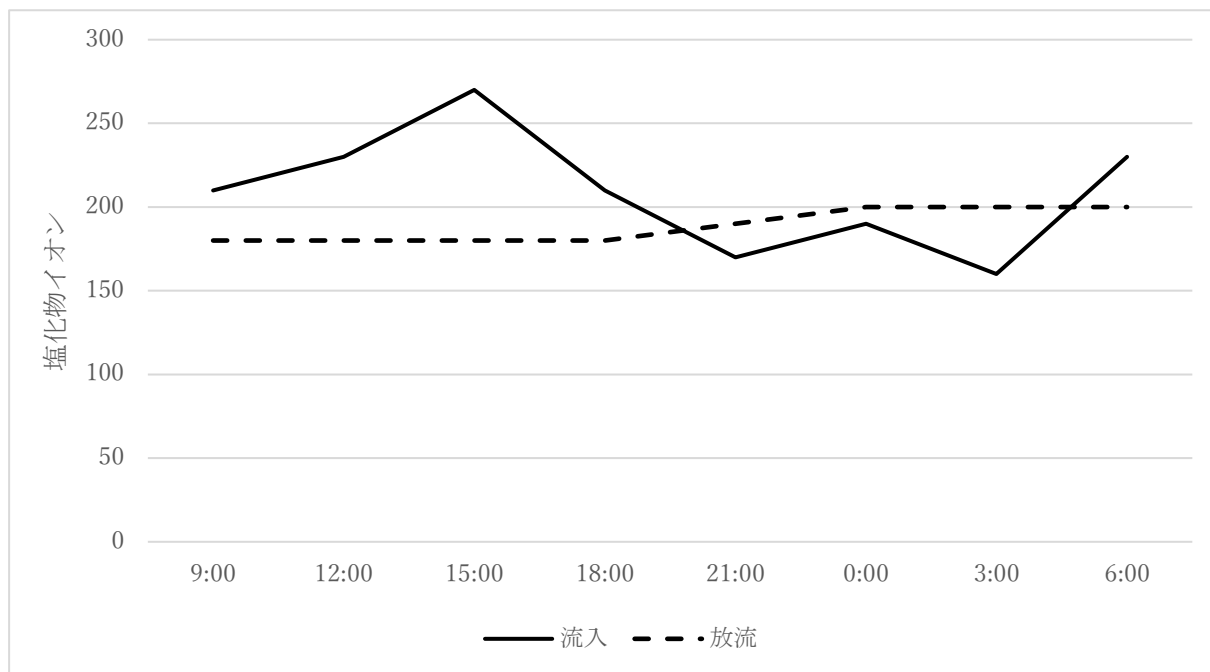


図4 流入水、放流水の塩化物イオン濃度変化

4 考察

平成29年初旬から、海水の混入による塩化物イオン濃度の上昇があった。海水の流入により反応槽生物相に急激な変化がなかったことから、水処理への影響は少なかったと考える。

福山市上下水道局の道路修繕工事により、海水の流入は改善できており、令和3年1月以降新たな海水の混入はないと考える。

5 まとめ

福山市箕沖町に立地する当浄化センターは、周辺を海に囲まれており海水の影響を受けやすい立地である。また、福山市の旧市街地は合流式下水道であるため降雨時に不明水が多い。

下水道に工場排水を流す事業者の内、排水量が多く塩化物イオン濃度が高い事業場が箕沖町のエリア内に多く立地していることから、各事業場の操業の影響を受けている。

なお、塩化物イオン濃度は規制対象項目ではないが、脱水汚泥から固形燃料として最終処分している当浄化センターとして、流入水の塩化物イオン濃度に注目している。

今後も、流入水について監視を継続するとともに関係機関と連携して取り組むこととしている。最後に、調査に協力いただいた福山市上下水道局に感謝いたします。

4 沼田川浄化センターにおける放流水中の N-BOD の増加予防対策

三原支所 水質課 ○杉野秀治 前藤富雄 万力悟

1 はじめに

BOD（生物化学的酸素要求量）は、水中の汚濁量を微生物によって消費される酸素量で表したもので、有機物の分解により消費される酸素量（C-BOD）と、窒素化合物の酸化により消費される酸素量（N-BOD）に分けられる¹⁾。そして、BOD は、水質汚濁防止法において排水基準が設定されている。また、下水道法においても規制されている。

沼田川浄化センターは、主に BOD を除去する標準活性汚泥法の施設である。しかし、平成 18 年度の環境部局の立入検査時に採取された放流水において、BOD : 29mg/L と水質汚濁防止法特定施設届出値を超過した。原因究明、改善等を指導された当方は、N-BOD の増加によることが原因と判断し、応急対策として硝化細菌の殺菌強化、重力濃縮タンクからの返流水による負荷の軽減を講じた。また、予防対策として硝化促進運転に取組み、平成 23 年頃から安定して運転できるようになり、N-BOD の低減化を図ることができた。

しかし、元々高度処理用の施設ではないため、流入水量が増え、反応タンクの滞留時間が短くなるに従い、反応タンクでの硝化細菌の保持が難しくなり、平成 28 年頃から、低水温期に硝化が抑制された状態に陥るようになった。そして、令和 2 年度に、瞬時値で N-BOD : 10.9mg/L と再び増加し、BOD : 13mg/L と高い値が認められた。

前述の値はいずれも瞬時値である。また、放流水の水質は常に変動している。特に、アンモニア性窒素が放流水中に残存する状況であれば、日間平均として良好でも、瞬時値として N-BOD が増加し BOD が高い値になることは起こりうる。さらに、BOD の結果が分かるまで 5 日間を要する。よって、法令遵守の観点でいえば、BOD の試験結果を踏まえた対応では十分でなく、予防対策が重要である。

よって、N-BOD の増加により BOD の水質汚濁防止法特定施設届出値の超過が起これぬように、改めて予防対策を再検討し検証した。具体的には、一般的な予防対策を整理し、その問題点について、維持管理データベースから過去のデータを抽出して検討し、沼田川浄化センターでの令和 2～3 年度の N-BOD 増加予防対策を決定した。そして、対策を実行し効果を検証した。

2 調査の方法

(1) 維持管理データベースからのデータの抽出

維持管理データベースは、Microsoft access を用いて作成されたアプリケーションで、1999 年 4 月からの沼田川浄化センターの各種データが収録されている。このデータベースから、N-BOD 予防対策を始めた、平成 19 年度以降のデータを抽出した。

(2) 各種データ

ア 水質試験結果

BOD は JIS K 0102 による。C-BOD・N-BOD は下水試験方法による。（N-BOD は、BOD 及び C-BOD から計算により算出。）

アンモニア性窒素・亜硝酸性窒素・硝酸性窒素は JIS K 0102（イオンクロマトグラフ法）による。

全りんは JIS K 0102（ペルオキシ二硫酸カリウム分解法）による。

イ その他のデータ

次亜塩素酸ナトリウム（以下「次亜」）注入率は、比重 1.20、有効塩素 12%として、放流量と消毒用次亜使用量から算出した。

送気倍率は、反応タンク総送風量（ $S \text{ m}^3$ ）を反応タンク流入水量（ m^3 ）で割り算出した。

なお、水質試験用の水は、前日の 9:00 から 24 時間毎正時一定量を採取し、混合したものである。よって、次亜注入率・送気倍率を水質試験結果と比較する際には、水質試験日とその前日の平均値を使用した。

3 調査結果と考察

(1) 令和2～3年度のN-BOD増加予防対策の決定

ア 検討

文献¹⁾に基づき、一般的なN-BODの増加予防対策を表1に示す。

表1 一般的なN-BODの増加予防対策

N-BOD≒0への考え方	一般的な予防対策	
	対策箇所	内容
放流水のアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素が極めて少ない。	反応タンク	硝化を促進し、アンモニア性窒素が存在しない状態にする。
放流水に硝化細菌が存在しない。	反応タンク	硝化を抑制して、硝化細菌が存在しない状態にする。
	塩素混和池	硝化細菌の殺菌強化

結果、反応タンクでの硝化について、促進・抑制のどちらにすべきかが問題となった。硝化を抑制した場合、水中に多量のアンモニア性窒素が存在し、塩素混和池での殺菌が不十分な場合、硝化細菌が残存もしくは混入し、増加することが考えられる²⁾。

また、塩素混和池において次亜注入率はどのくらいにすべきかが問題となった。注入率を上げれば確実にN-BOD≒0にできるが、放流口周りの生物への悪影響も懸念される。

そこで、これらの問題を過去の実績から検討するために、維持管理データベースからデータを抽出、グラフにプロットした。

まず、放流水のアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、N-BODの推移を図1に示す。

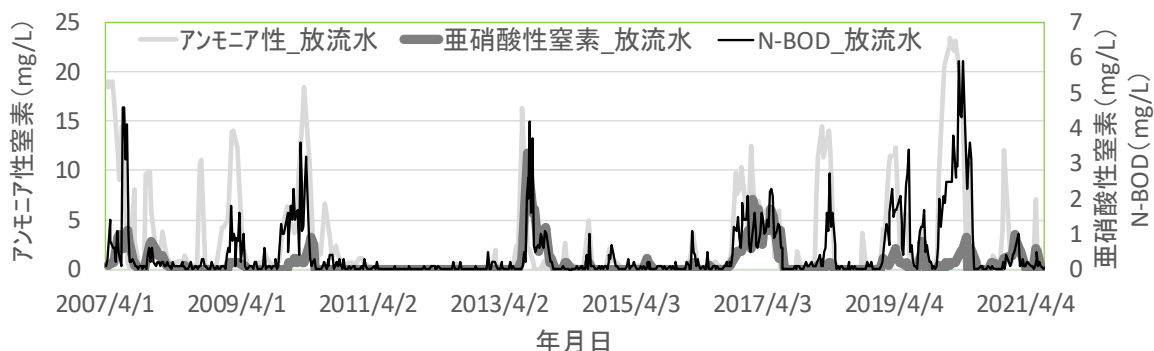


図1 放流水のアンモニア性・亜硝酸性窒素、N-BODの推移

結果、低水温期に、アンモニア性・亜硝酸性窒素の増加に併せてN-BODも検出されており、長期化すればさらにN-BODが増加する傾向が認められた。これは、反応タンクで硝化が抑制されても、放流水中では結局硝化細菌が存在していることを意味し、N-BODの増加予防対策としては有効ではないことが判明した。

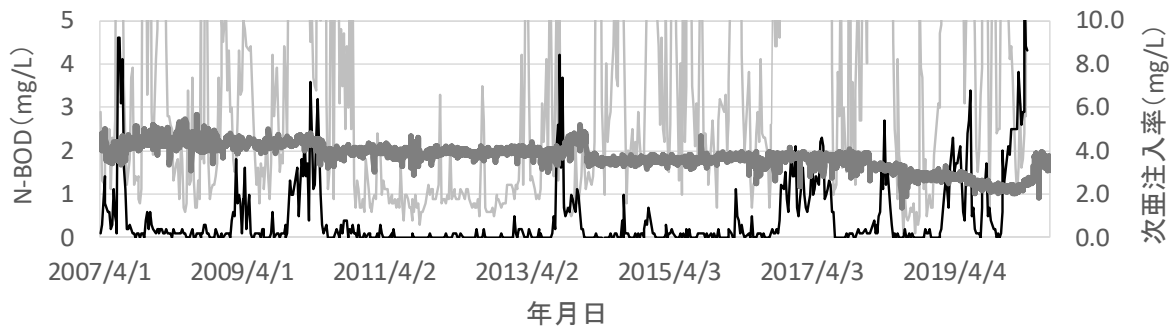
その逆に、硝化を促進すれば、放流水中のアンモニア性窒素、そしてN-BODは殆ど認められず、N-BODの増加予防対策として有効であることが分かった。ただし、沼田川浄化センターでは、低水温期の完全硝化は難しいため、低水温期にどの程度硝化でき、N-BODの増加を予防できるかはわからない。よって、令和2～3年度は、反応タンクで硝化が抑制されても硝化の維持に努め、その予防効果を検証することにした。

次に、次亜注入率と最終沈殿池出口・放流水のN-BODの推移を図2に示す。

まず、硝化が抑制された状況では、放流水にN-BODが必ず認められているので、確実にN-BOD≒0にできる次亜注入率は不明であった。実際、注入率4mg/Lでも、N-BODが認められており、4mg/Lを超える注入率でなければ難しいことは明らかであった。そこで、少なくとも放流水のN-BODを最終沈殿池出口より低く維持できる、注入率3mg/L以上で検証を始め、必要に応じて注入率を上げ、検証の中で確実にN-BOD≒0にでき、かつ放流口周りの生物への影響のない注入率を明らかにすることにした。

イ 決定

これらの検討を踏まえ決定した、令和2～3年度のN-BOD増加予防対策と具体的な運用方法を表2に示す。



— N-BOD 終沈出 — N-BOD 放流水 — 次亜注入率の前日との平均

図2 次亜注入率と最終沈殿池出口・放流水のN-BODの推移

表2 令和2～3年度のN-BOD増加予防対策と具体的な運用方法

施設	N-BOD 増加予防対策	具体的な運用方法
反応タンク	<ul style="list-style-type: none"> 可能な限りアンモニア性窒素・亜硝酸性窒素を低減する。 そのため、通常は硝化促進を行う。 硝化が抑制された状況でも、硝化促進の早期復帰のため、硝化の維持に努める。 	<ul style="list-style-type: none"> 最終沈殿池出口の硝酸性窒素をイオンクロで簡易計測し、2mg/L 以上であることを確認。 2mg/L を下回る場合は、4 段目反応タンク目標 DO の増、曝気風量の増、返送汚泥量の調整、3 段目反応タンクの好気化等により、速やかに硝化が進むように調整。
塩素混和池	<ul style="list-style-type: none"> 硝化が抑制された状況では、硝化細菌の殺菌に留意する。 3mg/L 以上の注入率で運用し、必要であれば注入率の増を図る。 	<ul style="list-style-type: none"> 次亜注入率は令和2年5月から継続している3.5mg/L で開始。 N-BOD の増加が認められたら、次亜注入率を上げる。

ウ 具体的な運用方法に係る検討

(7) 硝酸性窒素の簡易計測方法

具体的な運用方法を決定するにあたり、硝酸性窒素を監視する工業計器が据え付けられていないことが問題となった。よって、硝酸性窒素を把握する代替の方法を検討した。

当初は、迅速に測定して運用に反映させることを理想とし、現場ですぐ計測できる、安価なイオン電極法を検討していた。しかし、作業を細かく定めないと監視に必要な精度を得られないことが判明した。

よって、精度が高く作業量が少ないイオンクロマトグラフ法を用い、測定時間を短縮するため、過去の検量線で評価することにした。

イオンクロマトグラフ法による通常の試験結果と、過去の3つの検量線により評価した結果を図3に示す。硝酸性窒素

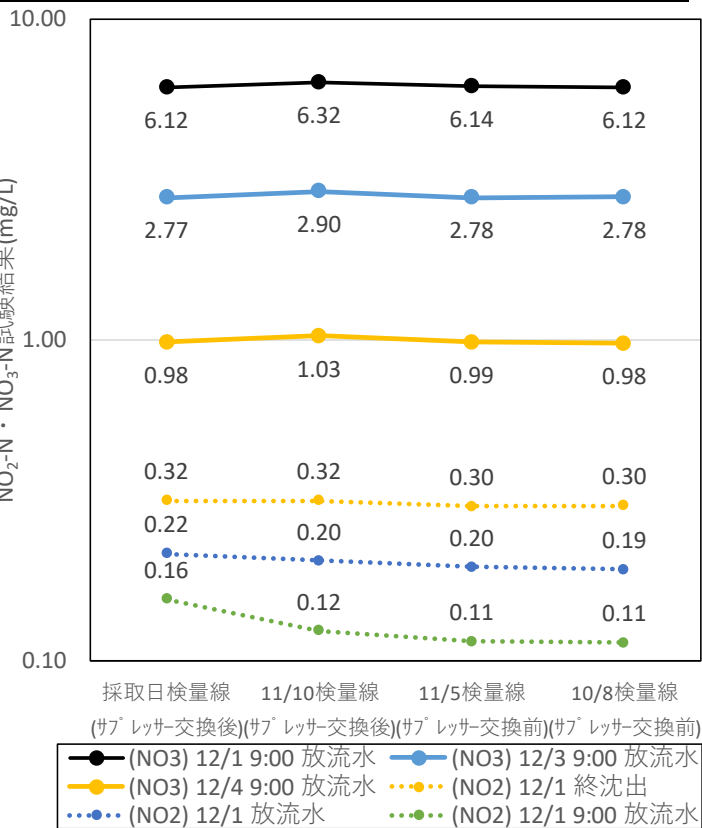
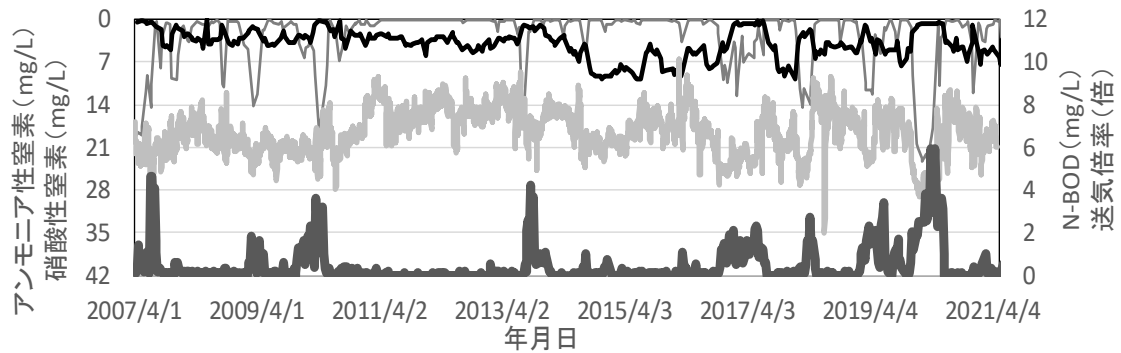


図3 過去の検量線により評価した試験結果の比較

については、通常の試験結果と過去の検量線により評価した結果に、大きな違いは認められなかった。

(1) 簡易計測の開始時期

次に、いつから硝酸性窒素の簡易計測を始めるかが問題となった。そこで、低水温期になると曝気風量を抑えていること、曝気風量が低下するとアンモニア性窒素は上昇、硝酸性窒素も低下することから、送気倍率に着目した。送気倍率と放流水のアンモニア性窒素・硝酸性窒素・N-BODの推移を図4に示す。



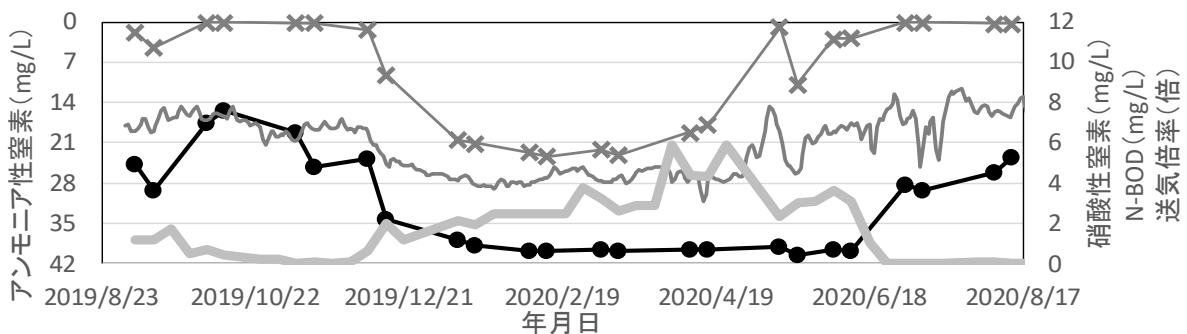
—アンモニア性_放流水 —硝酸性窒素_放流水 —前日との送気倍率の平均 —N-BOD_放流水

図4 送気倍率と放流水のアンモニア性窒素・硝酸性窒素・N-BODの推移

結果、送気倍率が概ね6倍を下回ると硝酸性窒素は1mg/L以下に低下していることが分かった。そして、その状況が継続すると送気倍率を上げてみてもすぐには硝化が起らないことも判明した。よって、低水温期に曝気風量の調整が始まり、送気倍率が6倍に近づいたところで、硝酸性窒素の簡易計測を開始することにした。そして、硝酸性窒素が2mg/L以下の場合には、より硝化が進むように反応タンク周りの諸条件を速やかに調整することにした。

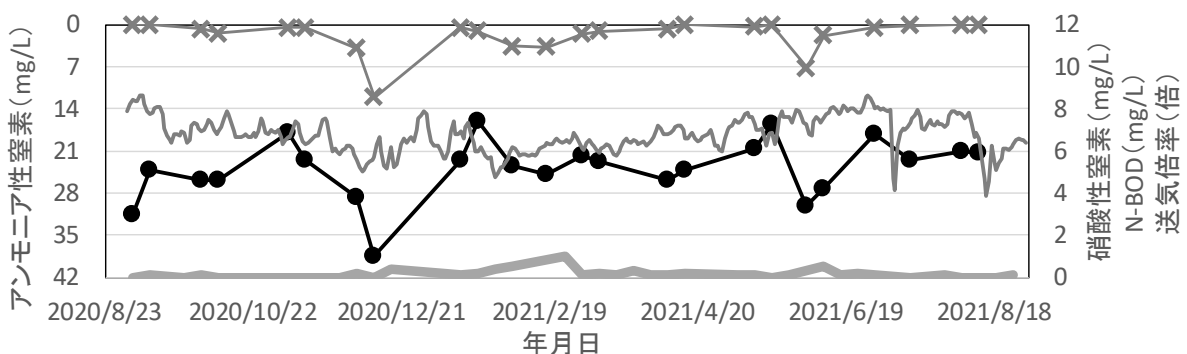
(2) N-BOD 増加予防対策の検証

対策前の令和1～2年度低水温期及びその前後の状況を図5に、対策実施時の令和2～3年度低水温期及びその前後の状況を図6に示す。



×アンモニア性_放流水 ●硝酸性窒素_放流水 —前日との送気倍率の平均 —N-BOD_放流水

図5 対策前の令和1～2年度低水温期及びその前後の状況



×アンモニア性_放流水 ●硝酸性窒素_放流水 —前日との送気倍率の平均 —N-BOD_放流水

図6 対策実施時の令和2～3年度低水温期及びその前後の状況

対策前は、低水温期になると汚泥の沈降性が悪化した。そのために曝気風量を減らして沈降性の改善を図ったが、硝化が抑制された状態になった。よって、放流水中のアンモニア性窒素は高濃度、硝酸性窒素は低濃度になり、N-BOD が検出されるようになった。そして、この状態が継続すると N-BOD が増加した。ここで N-BOD を低減するために、5 月から曝気風量を上げて硝化促進への転換を試みた。結果、アンモニア性窒素は低下したが、すぐに硝化は進まず N-BOD もあまり改善されなかった。さらに、亜硝酸性窒素の蓄積により、汚泥の解体と考えられる沈降性の悪化が起こった。そこで、亜硝酸性窒素の低減化のため、我慢強く反応タンク周りや曝気風量の調整を行い、沈降性の改善を図った。そして、7 月になり硝化が進み始め、N-BOD も認められなくなり汚泥の沈降性も改善した。

対策実施時は、低水温期も含め、概ね硝化を継続できた。結果、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素は低濃度で推移し、N-BOD の増加予防にも成功した。また、一時的に硝化が抑制された状況に陥り、硝酸性窒素の低下が認められたが、速やかな対応により硝化を維持できた。そして、完全硝化までスムーズに戻すことができ、硝化が抑制された状態から硝化を促進させる際の過渡的な水質変動もなかった。

なお、硝化が抑制された期間は短かく、次亜注入率 3.5mg/L を変更しなかったため、確実に N-BOD≒0 にできる次亜注入率は明確にならなかった。

また、対策実施時は、放流水の全りん濃度の上昇が認められた。そのため、5・6 月に、応急対策としてポリ鉄を注入し、低減化を図った。これは、反応タンク 1 段目の嫌気状況が不十分で、りんの吐出しが足らなかったことが原因と推測された。そして、対策前である令和 1～2 年度よりも曝気風量が比較的多かったこと、汚泥返送率が高かったことに起因すると考えられた。よって、今後、りんの処理条件を改めて検討しなくてはならない。低水温期及びその前後の放流水の全りん濃度の推移を比較したグラフを、図 7 に示す。

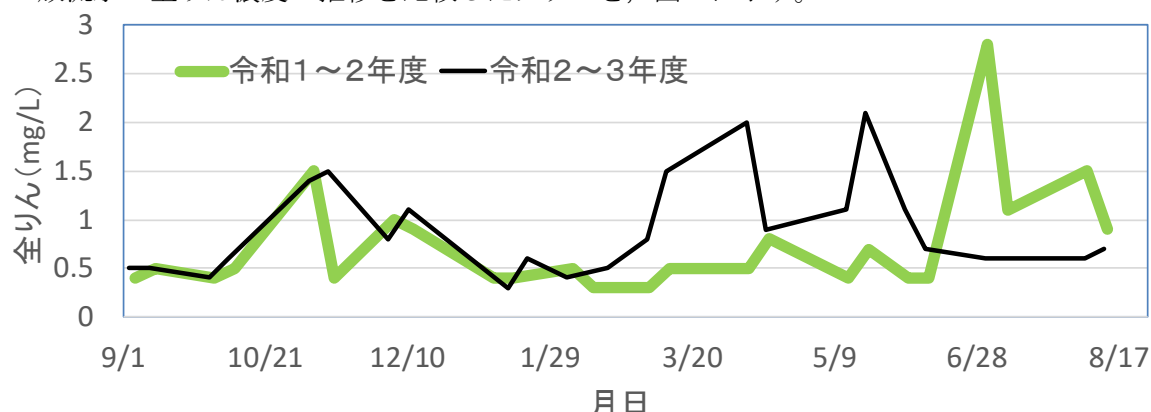


図 7 低水温期及びその前後の放流水の全りん濃度の比較

4 まとめ

N-BOD の一般的な増加予防対策を整理し、その問題点について維持管理データベースから過去のデータを抽出して検討した。そして、令和 2～3 年度の増加予防対策を次のとおり行い、その効果を検証した。

- 反応タンクは、可能な限りアンモニア・亜硝酸性窒素の低減を図るため、硝化が抑制された状態でも、硝化を維持する。
- 塩素混和池は、少なくとも放流水の N-BOD を最終沈殿池出口より低く維持できる次亜注入率 3.5mg/L で処理する。

結果、N-BOD の増加を予防できたので、当面は、令和 2～3 年度の予防対策を継続していく。

なお、確実に N-BOD≒0 にできる次亜注入率の確認も継続していく。

また、放流水の全りん濃度の上昇が認められたので、今後、対策を検討する。

参考文献

- 1) 下水道実務研修研究会編：新版 そこが知りたい下水道実務 Q&A (下) 維持管理編，株式会社山海堂，pp. 124～127 (1999)
- 2) 高下典之，箱田泰二，島埜武虎：放流水への塩素注入適正化について，調査研究事業報告書，公益社団法人広島県下水道公社，pp. 15～20 (2017)

