

調査研究事業報告書

令和7年3月

公益財団法人 広島県下水道公社

目

次

- 1 流入下水からの総水銀検出とその対応 -----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管理運転について -----8
（芦田川浄化センター）
- 4 沼田川浄化センターにおける流入水質の変化と今後の処理方針について -----12
（沼田川浄化センター）

流入下水からの総水銀検出とその対応

(公財) 広島県下水道公社業務部水質課

則常 浩太

1 はじめに

令和6年8月9日に、当公社が毎月実施している流入下水及び放流水の水質試験において、通常、定量下限値(0.0005mg/L)以下の結果である総水銀(水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物:以下水銀という)が、流入下水で0.0025mg/L検出された。この値は、下水道法の規定に基づく下水道排除基準で定める0.005mg/Lの半分の値となる。この状況が続く若しくはこれより高い濃度の水銀が流入した場合、水質汚濁法に基づく規制基準値を超える恐れや、汚泥の肥料化に影響を及ぼすことが考えられた。このため、一連の対応を行ったので報告する。

2 検出サンプル

- ・検出サンプル: 東部浄化センター 流入下水
- ・採水期間: 令和6年8月7日8時45分～同年8月8日8時45分

3 経緯

8月9日、当公社が毎月行っている重金属の水銀試験において、流入下水で0.0019mg/L(速報値)、放流水(I系及びII系)では定量下限値以下という結果であった。この結果を流域下水道課へ報告するとともに、再試験及び追加試験を以下の試験サンプルで実施した。

- ・水銀を検出した流入下水(流量比例によるコンポジット採水)
- ・8/9採水の流入下水(スポット採水)
- ・8/9採水のI系放流水(スポット採水)

その結果、再試験を行った流入下水から0.0025mg/L(確定値)の水銀が検出された、その他2つのサンプルは定量下限値以下であった。

この測定値を流域下水道課へ報告し、対応を協議することとなった。

4 対応

(1) 流入下水及び放流水の水銀含有量を追加確認

今回の水銀流入が、一過性のものであるか、継続的なものであるか確認するため、8月19日に当公社において、追加試験を以下のサンプルで実施することとした。

- ・流入下水(コンポジット採水: 8/14-8/15採水)
- ・I系放流水(コンポジット採水: 8/14-8/15採水)
- ・II系放流水(コンポジット採水: 8/14-8/15採水)
- ・流入下水(コンポジット採水: 8/18-8/19採水)
- ・流入下水(スポット採水: 8/19採水)
- ・I系放流水(コンポジット採水: 8/18-8/19採水)
- ・II系放流水(コンポジット採水: 8/18-8/19採水)

(2) 水銀の汚泥への移行の確認

通常、委託分析により偶数月に1回、脱水ケーキの有害物質測定を実施しているが、それに加え、8月19日から11月20日までの期間、15回に渡って、脱水ケーキの水銀含有試験及び溶出試験の委託分析を追加で実施した。

(3) コンポスト化による汚泥処理を見合わせ

脱水ケーキの水銀含有量が大幅に増加していた場合、廃棄物処理法や肥料品確法の規定に基づく汚泥肥料中の許容値(以下許容値)を超過する恐れがあった。

このため、上記(2)による脱水ケーキの水銀含有試験及び溶出試験の測定値が、コンポスト化による汚泥処理を実施しても差し支えないと判断できるまで、委託業者への汚泥の搬出を

見合わせた。

5 「4 対応」の分析結果

(1) 流入下水及び放流水

流入水及び放流水の水銀含有量の結果は表 1 のとおりであった。この結果により、8 月 14 日以降、水銀の継続的な大量流入はなく、一過性の流入であったと考えられた。

表 1 流入下水及び放流水の水銀含有量

	流入下水	I 系 放流水	II 系 放流水	流入下水	流入下水	I 系 放流水	II 系 放流水
採水日	8/14~15	8/14~15	8/14~15	8/18~19	8/19(1 点)	8/18~19	8/18~19
総水銀	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

(2) 脱水ケーキ

脱水ケーキの水銀含有試験の結果は図 1 のとおりであった。なお、溶出試験の結果は全て定量下限値以下であった。

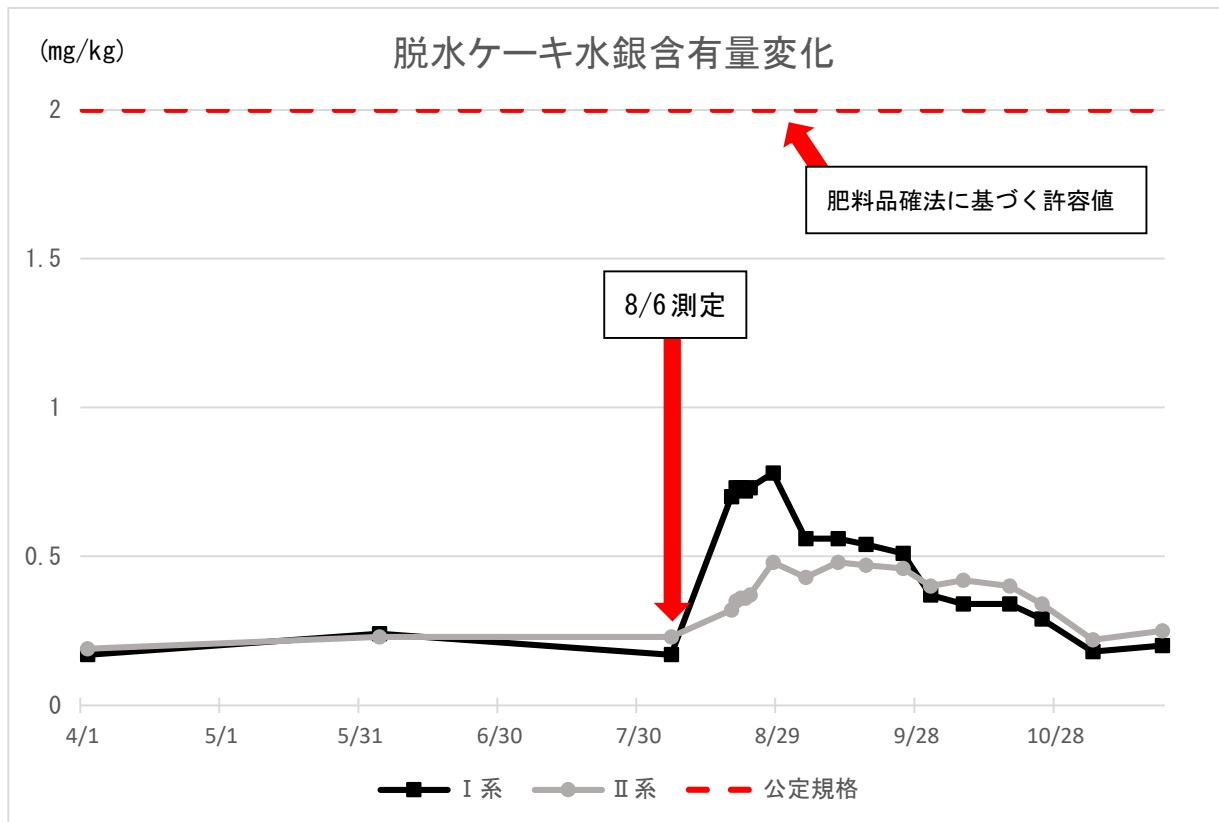


図 1 脱水ケーキ水銀含有量変化

6 コンポスト化業者への汚泥搬出

8 月 9 日以降、流入下水で定量下限値を上回る水銀が検出されなかったため、流入下水からの新たな大量の水銀供給はないと考えられた。

脱水ケーキの水銀含有量は、I、II 系とも、8 月 19 日から 8 月 28 日に採取した検体では増加していたが、9 月 4 日に採取した検体で減少に転じたことから、水処理施設の汚泥に吸着された水銀は、9 月上旬までに、概ね消化タンクに移動したものと考えられた。

このため、脱水ケーキの水銀含有量は、ケーキの搬出に伴い徐々に減少していくと考えられ

た。さらに、9月4日採取分の脱水ケーキの水銀含有量（Ⅰ系 0.56mg/kg、Ⅱ系 0.43mg/kg）が、肥料品確法に基づく汚泥肥料の許容値（2.0mg/kg 以下）を大きく下回っていたことを踏まえ、リスクとコストを総合的に判断し、9月18日から、コンポスト事業者への搬出を再開した。なお、搬出に当たっては、事前にコンポスト事業者へ脱水ケーキ水銀測定結果を提示し、同社の受け入れの意向を伺い、問題ないことを確認した。

7 まとめと考察

(1) 流入した水銀の挙動

8月9日に流入水で検出された水銀は、放流水で検出されていないため、水銀は最初沈殿池の汚泥、反応タンク及び最終沈殿池の活性汚泥に吸着されたものと考えられた。また、当センター水処理施設の汚泥滞留時間（活性汚泥が水処理施設内に留まっている日数）は、Ⅰ系が8日程度、Ⅱ系が28日程度であり、脱水ケーキの水銀含有量は、Ⅰ、Ⅱ系とも、9月4日に採取した検体で減少に転じたことから、水処理施設の汚泥に吸着された水銀は、9月上旬までに、概ね消化タンクに移動したと考えられた。

Ⅱ系の脱水ケーキの水銀濃度がⅠ系に比べ低い理由の一つとして、水処理方法はⅠ系の標準活性汚泥法（図2）に対し、Ⅱ系は凝集剤併用型循環式硝化脱窒法（図3）であり、Ⅱ系反応タンク内の活性汚泥の量はⅠ系に比べ多く（MLSS濃度が1.7倍）、「単位活性汚泥量当たりの水銀含有量」（=水銀量/活性汚泥量）は、Ⅰ系より低くなる。

このことから、Ⅱ系水処理施設から消化タンクへ供給される汚泥の「単位汚泥量当たりの水銀含有量」がⅠ系より低く、消化後の脱水ケーキの水銀含有量もⅠ系より低くなったと考えられた。ただし、Ⅱ系の汚泥滞留時間はⅠ系に比べ長いため、Ⅱ系水処理施設から消化タンクへ供給される汚泥には、水銀の影響がⅠ系より長期間残ったと考えられた。

また、Ⅰ系とⅡ系では流入水量（表2）、汚泥返送率、消化タンク容量、消化方法等が異なり、それらが、水銀濃度の違いにつながった可能性も考えられる。

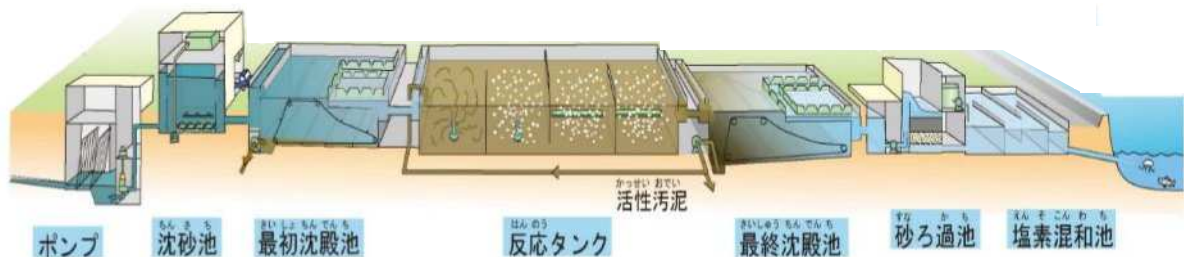


図2 Ⅰ系：標準活性汚泥法

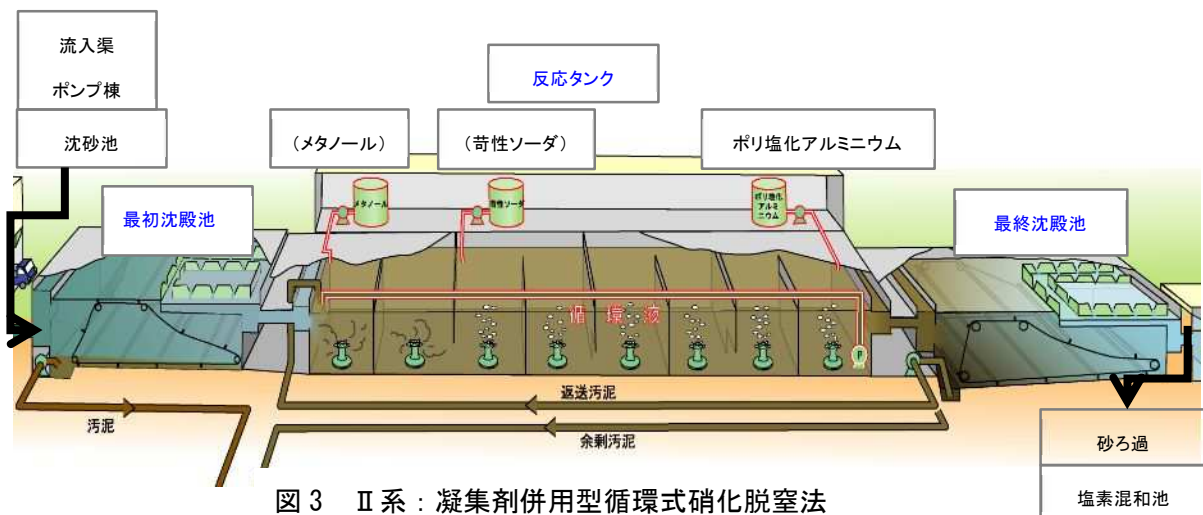


図3 Ⅱ系：凝集剤併用型循環式硝化脱窒法

表 2 1日当たり流入水量の各年度平均

	R1 年度	R2 年度	R3 年度	R4 年度	R5 年度
I 系 (m ³)	60,513	63,518	63,291	59,412	59,015
II 系 (m ³)	33,278	33,163	33,616	30,780	32,677

(2) 水銀の流入実態

今回、脱水ケーキの水銀含有量から推計した値では、約 816 g (約 60ml) の水銀が当センターに流入したと考えられる。どのような経路で流入したか詳細は不明であるが、当公社が毎年 2 回実施している幹線調査において、複数箇所から定量下限値を上回る水銀が散発的に検出されている (図 4)。

また、過去、関係自治体に協力する形で、これらのうち 1 つの幹線において原因を調査したところ、ある箇所において、製品の製造工程で水銀を含む顔料が使用され、下水道排除基準を超過する水銀が排出されていた事例があった。

今後、幹線調査等で有害物質の排出が疑われる事例が発見された場合、各自治体において必要に応じ、調査を行うことや、排出元が判明した際の是正指導の実施等の対応が行われなければ、当所における適正な下水処理も困難になる可能性がある。

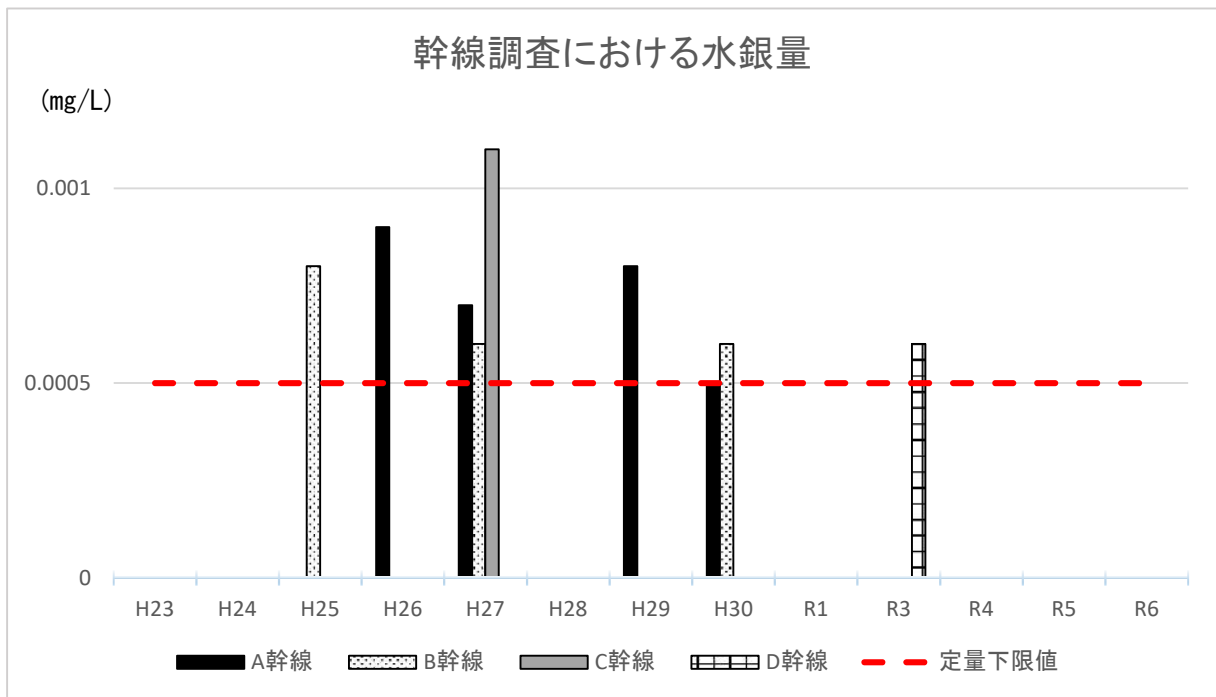


図 4 幹線調査における水銀量

8 最後に

今回の当センターへの水銀流入による、水処理への影響はなかったと考えている (表 3)。

水銀は金属水銀の形態であれば、生体への作用はほとんどなく、蒸気にならない限り無害であると考えられるが、有機水銀の化学形態をとった場合、毒性が強く生物に影響を与える。このため、水銀の処分には厳格な運用がなされており、水銀が下水処理施設に流入した場合、仮に水処理への影響がない場合であっても、汚泥の肥料化への影響が大きいことから、安定した下水道事業の運営に支障をきたす。

今回の一件で、水銀に限ったことではないが、予期せぬ物質の流入があった際、適切に対応するため、平素から自施設の下水と汚泥の処理系統及び原理を正確に把握しておくことが重要であると感じさせられた。

表3 各月当たりの放流水質

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
I系放流水	透視度(度)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	pH	7.0	6.9	6.9	6.9	7.2	7.0	7.0	7.0	7.1
	浮遊物質(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	BOD(mg/L)	2.0	1.7	2.3	1.0	1.7	1.9	1.5	2.0	2.9
	COD(mg/L)	8.1	7.4	7.2	6.5	8.2	8.3	7.7	7.8	8.3
	全窒素(mg/L)	19	18	19	14	20	19	18	19	20
	全りん(mg/L)	1.5	1.5	0.7	1.4	0.9	0.8	1.4	0.6	0.4

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
II系放流水	透視度(度)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	pH	6.6	6.7	6.7	6.7	6.8	6.8	6.8	6.8	6.7
	浮遊物質(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	BOD(mg/L)	1.0	0.5	0.9	0.5	0.6	0.8	0.6	0.6	0.8
	COD(mg/L)	5.0	4.7	4.5	4.2	5.0	4.9	4.5	5.4	5.6
	全窒素(mg/L)	8.1	8.0	7.8	6.7	9.8	8.7	7.7	8.9	8.3
	全りん(mg/L)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.3	0.5	0.5

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6年5月、12月

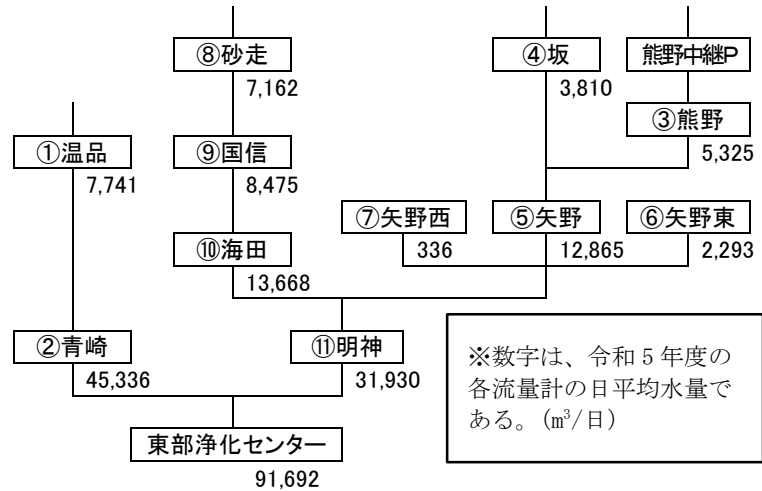
(2) 調査箇所

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。

有害物質について、すべての調査箇所、下水道排除基準を超過した項目はなかった。

その他の項目では、⑩海田の12月調査において、浮遊物質量が1,400mg/Lとなり、下水道排除基準(排水量50m³/日以上)の600mg/Lを超過した。また、同調査では、ヒ素が下水道排除基準の0.1mg/Lに迫る0.09mg/Lで、鉛が0.01mg/L、亜鉛が0.24mg/L、銅が0.12mg/L検出された。

令和5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、⑦矢野西で12月に水素イオン濃度が9.0だった。また、塩化物イオンについては、④坂で5月に620mg/L、12月に440mg/L、⑤矢野で5月に260mg/Lと数値が高く、両地点では、海水に含まれる硫酸イオンも高めの数値だった。

表1 令和6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	下水道 排除 基準	R5年度 流入水質 ()平均値
採水 月日	5/15 12/11	5/16 12/12	5/17 12/13	5/17 12/13	5/13 12/9	5/13 12/9	5/13 12/9	5/14 12/10	5/16 12/12	5/15 12/11	5/14 12/10	—	—
採水 時刻	15:00 14:20	15:10 15:00	14:40 14:00	11:10 10:30	14:30 15:10	14:40 15:05	14:45 15:00	10:55 10:30	10:30 10:20	10:55 11:00	15:40 14:50	—	—
水素イオン 濃度	7.3 7.3	7.3 7.0	7.2 7.0	6.9 7.4	7.1 7.1	7.3 7.3	8.3 9.0	7.1 7.1	7.2 7.3	7.2 7.4	7.2 7.1	5~9	7.2~8.1 (7.3)
浮遊物 質量	110 130	99 130	150 140	210 150	150 150	93 100	170 120	150 200	230 210	210 1,400	130 170	600*1	94~190 (140)

	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	下水道 排除 基準	R5 年度 流入水質 ()平均値
化学的酸 素要求量	87 100	96 120	110 120	130 110	100 120	74 100	140 120	120 140	170 160	150 270	100 120	—	55~150 (130)
硫酸 イオン	16 20	37 28	16 17	87 71	51 30	19 16	35 18	15 15	17 17	18 17	29 26	—	—
塩化物 イオン	31 39	170 130	37 55	620 440	260 110	29 50	52 43	32 35	35 36	43 37	99 77	—	110~360 (170)
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	0.005	ND~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	1	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	0.03	ND~ND
鉛	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	0.01 ND	ND 0.01	ND ND	0.1	ND~ND
ヒ素	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND 0.09	ND ND	0.1	ND~ND
亜鉛	0.04 0.06	0.06 0.06	0.07 0.09	0.16 0.07	0.06 0.07	0.03 0.05	0.06 0.06	0.07 0.07	0.09 0.07	0.10 0.24	0.08 0.12	2 ^{*2}	0.10~0.19 (0.13)
銅	0.02 0.02	0.02 0.02	0.03 0.06	0.05 0.03	0.02 0.03	0.01 0.01	0.02 0.02	0.02 0.02	0.03 0.0	0.03 0.12	0.02 0.04	3 ^{*2}	0.02~0.03 (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	2	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）

※1：排水量 50 m³/日以上以上の工場又は事業場

※2： // （水濁法特定事業場の内、ソソ・カド使用、と畜業、食鶏処理業又は廃油再生業にあっては排水量 30 m³/日以上）

(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。

また、塩化物イオンが④坂、⑤矢野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、坂幹線には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。

4 おわりに

今回の調査では、⑩海田の12月調査において、浮遊物質量が下水道排除基準を超過し、ヒ素が下水道排除基準に迫る数値で検出され、鉛、亜鉛、銅も検出されたため、流域下水道管理者の広島県に情報提供をおこなった。

また、本年8月9日に、浄化センター流入水で全水銀を検出したが、一過性の流入と考えられ、流入経路は不明であった。12月調査においても、全水銀は全ての調査地点で、定量下限値未満で、流入経路の推定には繋がらなかった。

浄化センターに流入する金属類の多くは、下水処理場で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。

芦田川浄化センターの管理運転について

(公財) 広島県下水道公社 福山支所水質課 ○渡辺 毅
有重 裕司
高邊 潤平

1 はじめに

芦田川浄化センターの処理方式は、「標準活性汚泥法+急速ろ過法」であり、硝化抑制運転を行っている。

日最大処理能力は、令和6年度は190,400 m³/日で、処理水は福山港へ放流しており、水質汚濁防止法に基づく特定施設であり、COD、窒素、リンの総量規制基準が適応されている。

流入エリアについては、福山市公共下水道新浜処理区を接続し現在に至っている。

令和6年度の夏は異常な高温により、9月は流入水温が下がることなく、9月中旬まで反応槽の水温が30度近くまでであったため、汚泥の沈降性が悪化し、汚泥濃縮が進まない状況になった。

2 調査方法

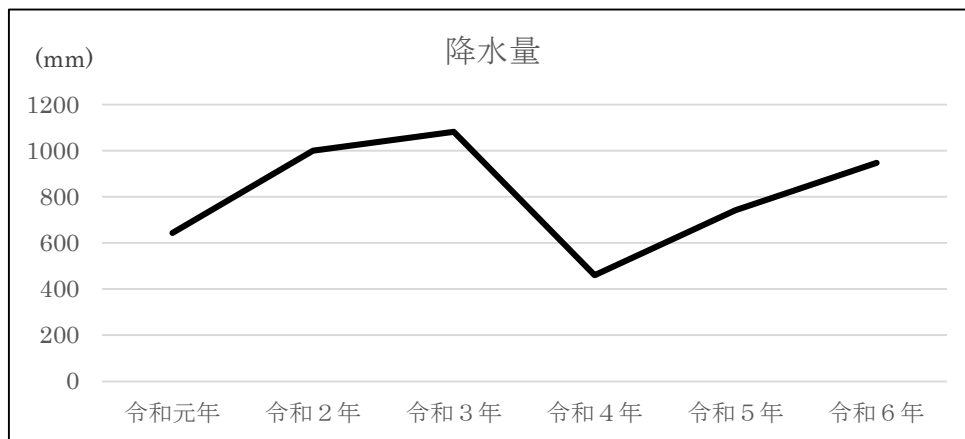
- (1) 調査期間 令和4年度から令和6年度12月まで
- (2) 調査項目 流入水量、水温、消化ガス発生量、濃縮汚泥量、化学的酸素要求量、窒素含有量、リン含有量

3 降水量の推移

福山市地域は、北は中国山地、南は四国山地に挟まれているため、季節風がそれぞれの山でブロックされて、乾いた風が瀬戸内側へと抜けてくるため降水量が極めて少なく、年間約1,000ミリと全国平均の半分程度しか雨が降らない。

しかしながら、今年度は4月以降毎月100ミリ程度の降雨があり、梅雨時期から台風シーズンまではまとまった降雨に恵まれず、9月は7ミリ、12月は0ミリとなった。したがって芦田川流域の降水量は、令和6年12月まで約950ミリである。

図1 芦田川浄化センターの降水量の推移

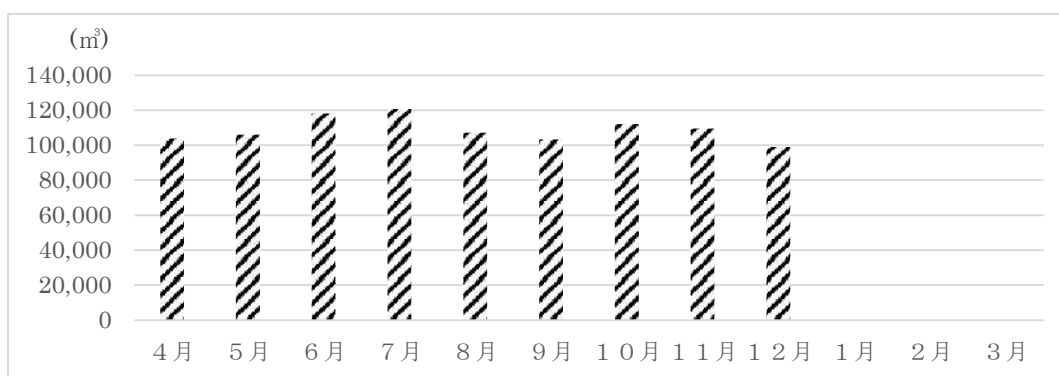


4 流入水量の推移

流入水量の月別推移は、降雨の影響を受けやすい梅雨時期や台風通過の影響を受ける 6 月～9 月にまとまった降雨がなかったため、1 日当たりの流入水量は約 10 万 m³程度が見込まれる。

令和元年度からの流入水量は、1 日に流入する水量は、令和元年度は 103,300 m³で、令和 2 年度 109,295 m³、令和 3 年 107,622 m³、令和 4 年度 99,386 m³ 令和 5 年度 103,731 m³とほぼ横ばい状況である。

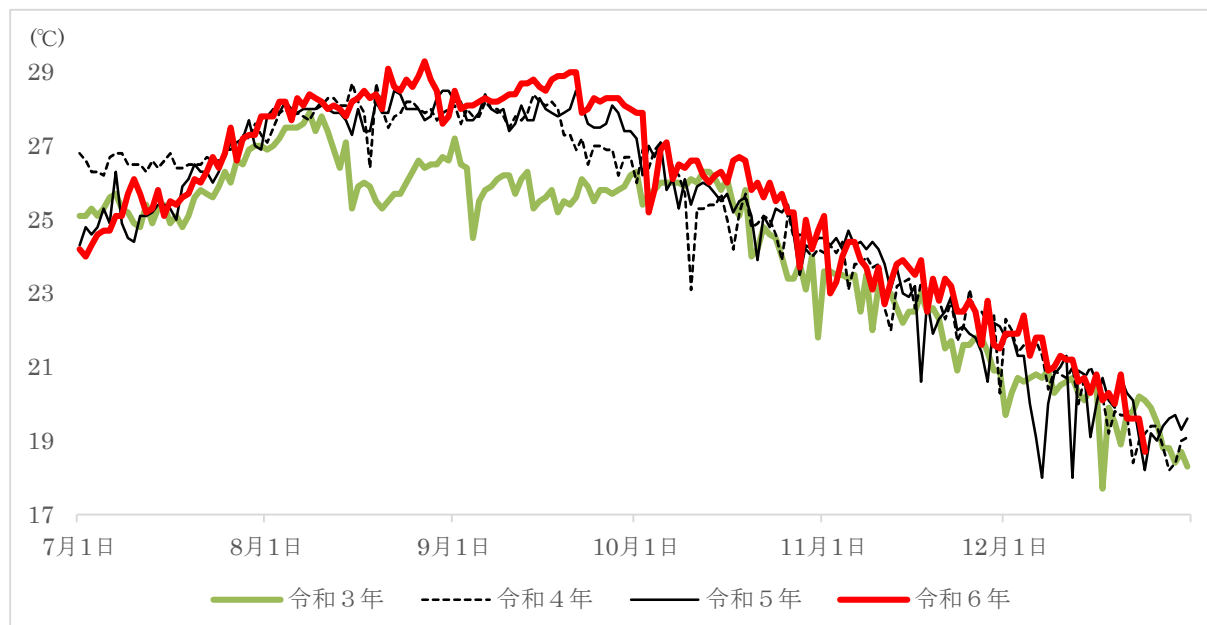
図 2 流入水量の月別推移



5 流入水温の推移

流入水温の変化について、令和 3 年度までは 8 月を超えると水温の低下があったが、それ以後は、年々水温は上昇している。本年度の流入水温は、例年と比較して異常に高く、放流水の水温は 9 月中旬まで 29 度近くに上昇することがあり、本年度は 10 月中旬まで高い水温が流入した。

図 3 流入水温の変化



6 消化ガス量の変化

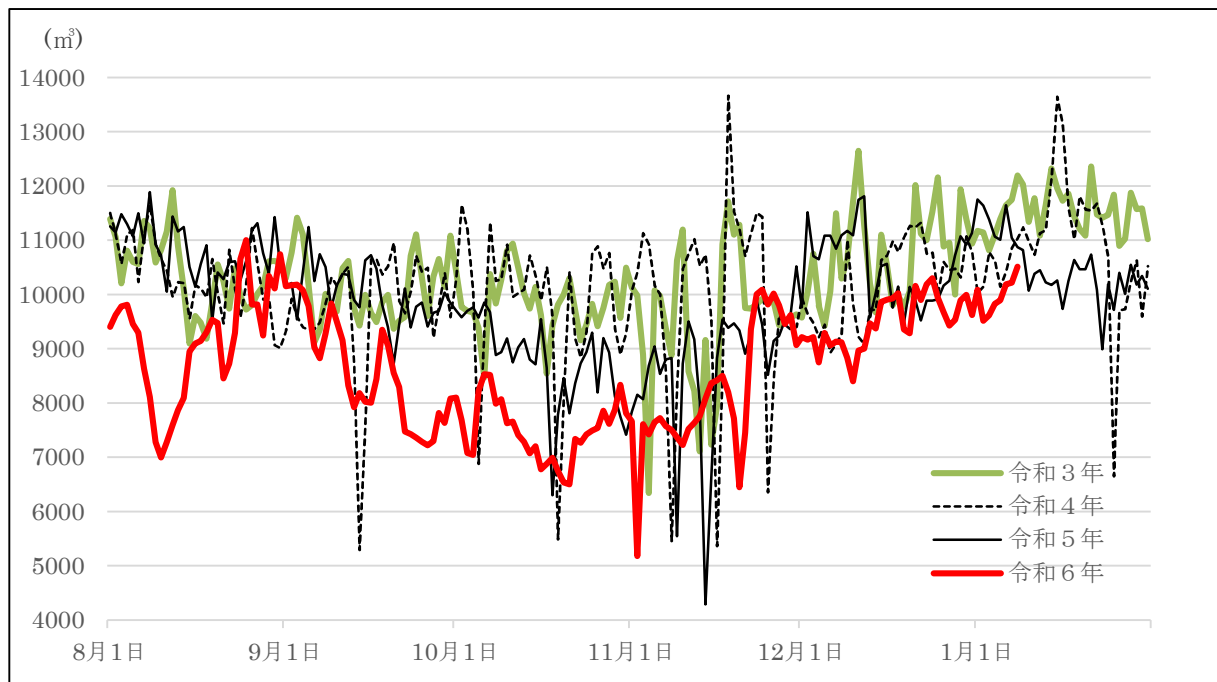
令和 6 年度は、これまで経験したことがない程度の温度の高い流入水が流入した。

そのため、水温は 8 月の第 1 週からは 28 度を超えて、10 月 2 日まで水温が高温のため、生汚泥の汚泥重力濃縮槽内で汚泥の浮上により十分な汚泥濃縮が妨げられたため、その後の消化ガス

が不足した。9月・10月と汚泥燃料化施設の処理を調整しつつ処理を継続したが、消化タンクに十分な量の汚泥が供給できなかつたため、その後の消化ガスが不足したものである。

消化ガス量の低下について、8月7日から8月14日までの期間及び9月12日から11月22日までの期間は、発生消化ガスの量が8,000 m³を下回っており、燃料化施設の運転を制限しなければならず、代替燃料としてLPガスを使用することが多くなった。

図4 消化ガスの変化

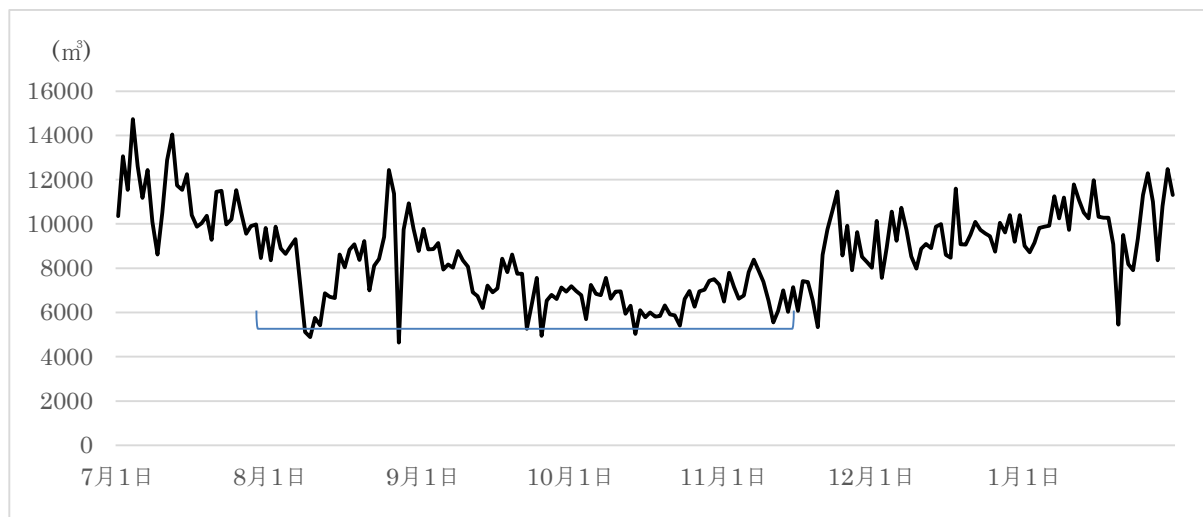


7 汚泥の不足

令和6年度は、春から一定の降雨に恵まれたことにより、流入水に含まれる汚泥量は例年と変わらずに芦田川浄化センターまで届いていたはずである。

しかしながら、8月から11月までの期間、生汚泥の重力濃縮に支障が出たため、十分な量の汚泥を消化タンクへ送ることができなかつたため、長期にわたって消化ガスが不足したものである。

図5 濃縮汚泥量



8 放流水の水質状況

令和元年度から令和5年度までの放流水のCOD、全窒素、全リンの水質状況は下記表1のとおりである。

年間を通して放流水の著しい濃度変化は少ないが、水温が20度を下回る冬場は、反応槽活性汚泥に含まれる微生物活性が低下する。また、生物脱リン法は、活性汚泥中のポリリン酸蓄積能力をもつ細菌の働きを利用して、汚泥中のリン含有量を高めることで、排水中からリンを除去するものであるが、流入水の変化により（雨水などの流入により）嫌気度が維持できない場合は、リンを蓄積した汚泥からリン酸を放出するため、注意が必要である。

表1 放流水の水質状況 (mg/L)

	平均値	最大値	最小値
COD	11	13	8
T-N	17	22	13
T-P	1.0	2.5	0.5

9 まとめ

芦田川浄化センターは、通常運転で水温が低下する1月～3月の全窒素は、上昇傾向を示しているが、リンは降雨の影響を受けるものの安定しており、CODは年間を通じて安定している。

芦田川流域下水道芦田川浄化センターへ流入する地域は、毎年供用開始区域は微増しているが、流入水量の大きな増加は認められない。水温が低下する時期の降雨により、全窒素及び全リンの処理に関わって、支障をきたす恐れがあることから今後の検討が必要と考える。

また、地球規模の気象の変化により、長い期間高温が続くことや豪雨・長雨若しくは渇水の恐れがあることから、自然の状況に応じた処理が求められる。

今回の水温上昇に伴い汚泥の重力濃縮に支障をきたし、消化ガスの不足になったことから、汚泥濃縮の沈降性の改善などの対策に取り組むたいと考えている。

沼田川浄化センターにおける流入水質の変化と今後の処理方針について

三原支所水質課 徳久太

本報告書では沼田川浄化センターにおける最近の水質変化を分析し、処理方針について検討を行う。2018年度以降様々な要因で流入水質が変動しており、処理プロセスに影響を与えていると考えられる。流入水質に合わせた効果的な処理方法を検討する必要がある。

1 沼田川浄化センター流入水の状況

2018年4月から2024年9月までの沼田川浄化センター流入水のBOD、全窒素、全リン濃度の変化を図1、3、4に示した。データは季節変動を除くため12ヵ月の平均値であり、ある時点からの変化を明確にするために、半月ごとにプロットしてある。横軸2019のデータは2018年4月から2019年3月の平均値を示して、2019年から2020年の間のグラフは、2019年度の変化を示している。縦軸の最小と最大比率は1.35倍に統一してある。

BODについては2020年の6月と11月に大きく低下している。しかし、2023年9月以降増加傾向にある。図2に流入水のn-ヘキサン抽出物質の変化を示した。2022年8月まではBODと同様に推移しているが、10月以降上昇を続けている。2023年以降のBOD変化は油脂分の増加の影響が大きいと考えられる。

全窒素については変化が少なく常に年平均29mg/L程度である。

全リンについては変化が大きく2020年の11月から増加したが、2021年12月からは低下している。しかし、2018年度の約1.2倍の値を示している。



図1 流入水 BOD

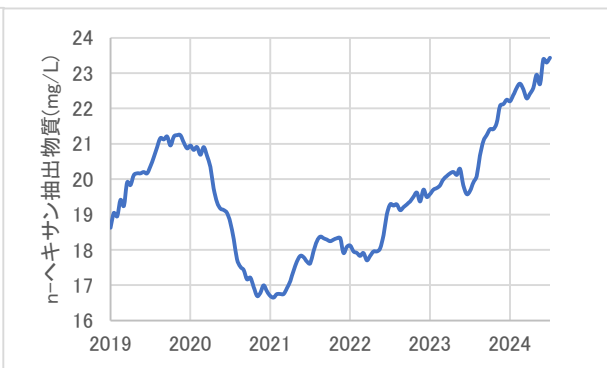


図2 流入水 n-ヘキサン抽出物質

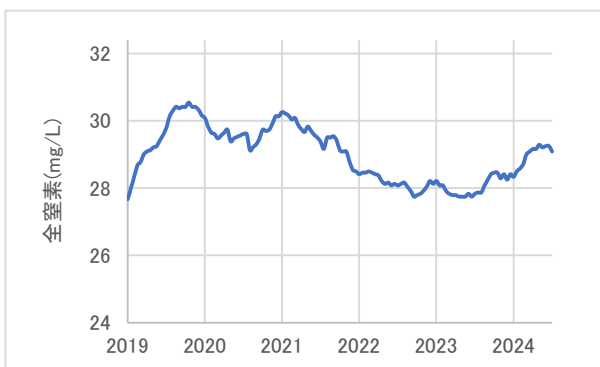


図3 流入水全窒素

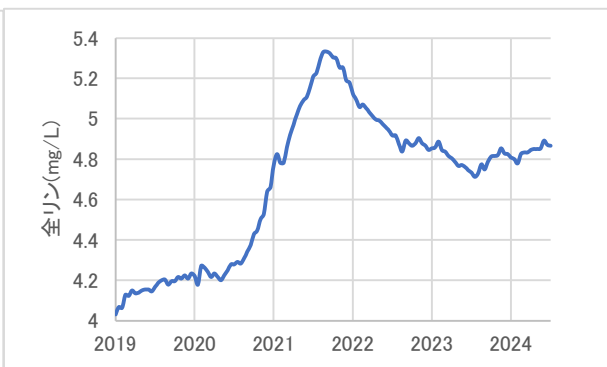


図4 流入水全リン

2 沼田川浄化センター反応タンク流入水の状況

反応タンク流入水（記録上は初沈流出水）は生物処理を受けるため、放流水水質に強く関係している。1と同時期の反応タンク流入水のBOD、全リンの変化を図5、6に示す。全窒素は流入水と同様の変化のため省略する。

BODは流入水より変化が大きい。2020年12月から2021年11月に、BODが最小、全リンが最大となった。

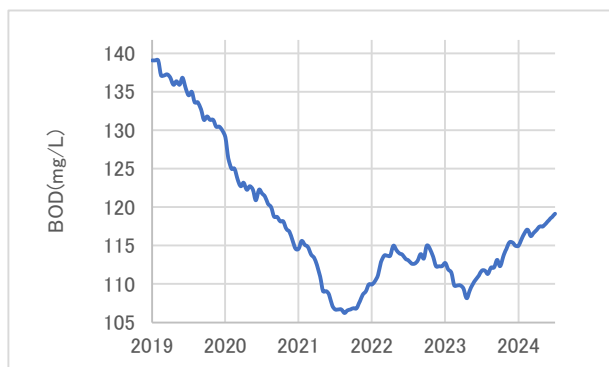


図5 反応タンク流入水のBOD

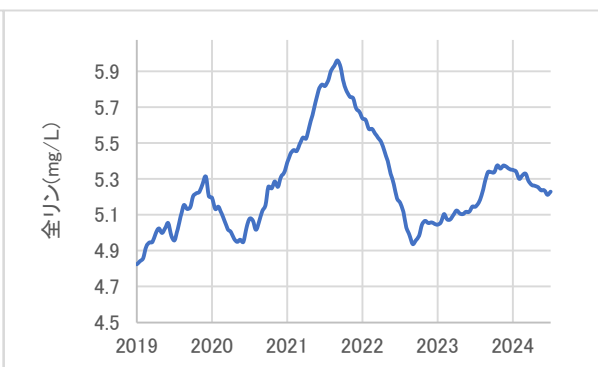


図6 反応タンク流入水の全リン

BODが最小、全リンが最大の時期と前後2年度の平均値を表1に示す。

	BOD	全窒素	全リン
2018～2019 平均	134	25	5.0
2020.12～2021.11 平均	107	25	6.0
2022～2023 平均	114	23	5.2

表1 時期ごとの各濃度 (mg/L)

BODを100とした場合の全窒素、全リンの値を表2に示す。

	全窒素	全リン
2018～2019 平均	19	3.7
2020.12～2021.11 平均	23	5.6
2022～2023 平均	20	4.6

表2 BODを100とした場合

標準活性汚泥法ではBOD:全窒素:全リン=100:5:1が最も処理に適していると言われている。

BODに対する全リンが以前より上昇し、最適の4.6倍となっている。標準活性汚泥法では全リン処理が難しいため、嫌気好気活性汚泥法で処理を行っている。

3 沼田川浄化センター放流水の水質

流入水や反応タンク流入水の水質が変化した2020年12月から2024年9月まで放流水の水質は表3の通り。ただし有意水準1%のスマイルノフ・グラブス検定を行い、外れ値となった値は除外した。

	法定基準	放流水水質	放流水水質/基準
pH	5.8～8.6	6.4～7.5	
BOD	日平均 15	6.0 以下	40%
COD	日平均 20	20 以下	100%
SS	40	9 以下	22%
大腸菌群数	3000	不検出	0%
全窒素	日平均 60	15 以下	25%
全リン	日平均 8	3.5 以下	44%

表3 外れ値を除外した放流水水質

CODは法定の排水基準を超えやすく、問題となっている。また、全リンは法定基準を超える可能性は低いが、瀬戸内海流入水域のりん含有量に関する総量規制基準の算定に用いる値である3mg/Lを超えることがあり、CODの次に処理に注意が必要である。

4 完全硝化について

COD・BOD対策として重要なのが、完全硝化である。ここでは嫌気好気活性汚泥法で硝化促進運転を行い、反応タンク流出水でアンモニア態窒素濃度を1mg/L未満にすることを完全硝化とする。ただし水質試験は最終沈殿池流出水で行っている。

アンモニア態窒素 1mg/L は BOD4. 6mg/L として検出されるため、BOD 対策として重要である。ただし通常の BOD 測定では水中の硝化細菌が少ないため、放流水中にアンモニア態窒素が含まれていても理論値通りに BOD が検出されることはない。

反応タンク流出水中のアンモニア態窒素は最終沈殿池で汚泥が嫌気性となり、亜硝酸態窒素や硝酸態窒素に変化する。このとき窒素ガスが発生し、汚泥が浮上することがあり、放流水 SS 上昇の原因となる。また、亜硝酸態窒素 1mg/L は COD1. 1mg/L、BOD1. 1mg/L として検出されるため、アンモニア態窒素は放流水 COD 上昇の原因にもなる。

5 ASRTの管理

完全硝化を行うために必要なのが ASRT の管理である。

SRT(Solids Retention Time)固形物滞留時間

水処理系内に存在する活性汚泥量(kg)/1日当たり系外に排除される活性汚泥量(kg/d)で定義され、単位は(day)である。

$$\begin{aligned} \text{SRT} &= \text{反応タンク内活性汚泥量} / (\text{余剰汚泥固形物量} + \text{処理水 SS 量}) \\ &= \text{MLSS} \times \text{反応タンク容量} / (\text{返送 SS} \times \text{余剰汚泥} + \text{処理水 SS} \times \text{終沈流出水}) \\ &= \text{MLSS} \times \text{反応タンク容量} / (\text{返送 SS} \times \text{余剰汚泥量} + \text{処理水 SS} \times (\text{反応タンク流入水量} - \text{余剰汚泥量})) \end{aligned}$$

MLSS(Mixed Liquor Suspended Solids)とは活性汚泥浮遊物質のことであり、単位(mg/L)

ASRT(Aerobic Solids Retention Time)好氣的固形物滞留時間

SRTのうち好気状態の期間であり、単位は(day)である

沼田川浄化センターの反応タンク容量は1系列3,712 m³であり、壁で四等分され、別槽として処理が可能である。反応タンクを2系列で運転する場合のASRT計算式は下のとおり。

$$\begin{aligned} \text{ASRT} &= \text{好気槽数} / 4 \times \text{SRT} \\ &= \text{MLSS} \times 1,856 \times \text{好気槽数} / (\text{返送 SS} \times \text{余剰汚泥量} + \text{処理水 SS} \times (\text{反応タンク流入水量} - \text{余剰汚泥量})) \end{aligned}$$

「下水道維持管理指針実務編 2014年版」p30に80%以上の硝化を維持できるASRTと水温の関係式が示されている。ASRTは高いほど硝化率が高くなる。

$$\text{ASRT} = 20.65^{-0.0639T}$$

T: 水温(°C)

2020年12月以後のデータから1日当たり系外に排除される活性汚泥量を計算すると、平均1422.5kg、標準偏差254.4kgとなった。排出される汚泥量が多いほどASRTは小さくなる。排除汚泥量の上位5%値は1,422.5+254.4×1.645=1,840.9kgとなる。この値を完全硝化に必要なMLSSを計算するために使用する。

以上のデータより反応タンクの水温ごとの80%以上硝化に必要なMLSSを計算し、表4に示す。なお好気槽数は3とし、MLSSは2桁に切り上げた。

流入水温	MLSS
16.4°C~17.0°C	2400
17.1°C~17.7°C	2300
17.8°C~18.4°C	2200
18.5°C~19.2°C	2100
19.3°C~20.0°C	2000
20.1°C~20.8°C	1900
20.9°C~21.7°C	1800
21.8°C~22.7°C	1700
22.8°C~23.7°C	1600
23.8°C~24.7°C	1500

表4 硝化に必要なMLSS

好気槽を2槽にした場合はこの表の1.5倍のMLSSが必要となる。低水温時期でもMLSSを高く保ち、十分な曝気を行うことで、完全硝化を目的とした運転を行う。

6 全リンの低減について

標準活性汚泥法のMLSSは1,500~2,000mg/Lが一般的な管理条件である。一方嫌気好気活性汚泥法のMLSSは1,000~2,000mg/Lで管理していることが多い。これは汚泥が取り込んだリンを系外に排除するにはMLSSを低くする=余剰汚泥量を多くすることが望ましいからである。

沼田川浄化センターでは、CODを除去するために一般的な活性汚泥法よりも高いMLSSで運転を行う必要がある。そのため放流水中の全リン濃度を低く保つことが難しい。

脱リン菌は嫌気状態では、細胞内のポリリン酸を加水分解して得たエネルギーを活用して有機物を細胞内に取り込み貯蔵すると共に生成したリン酸を細胞外へ放出する。一方で、好気状態では、反応タンク液中の有機物又は細胞内の貯蔵有機物の一部を酸化分解して得られるエネルギーを利用してリン酸を摂取して、ポリリン酸に変換して細胞内に蓄積する。

沼田川浄化センターでは通常時4段に分かれている反応タンク1段目のみを嫌気性とする、嫌気好気活性汚泥法で運転を行っているが、冬以外に放流水の全リン濃度が上昇した場合に反応タンクの3段目も嫌気性とする運転を行う場合がある。以後この運転を「AOAO運転」という。

AOAO運転を行うと3・4段目では利用できる有機物が少なく、3段目以降で十分にリンの放出や取り込みが行えない可能性がある。「高度処理ナレッジ集~既存施設を活用した段階的高度処理の取り組み~」によると、他施設の運用例ではAOAO運転を行う場合は3段目に有機物の供給を行うか、初沈の負荷を2倍にして流入有機物濃度を高くしている。

また、AOAO運転を行う場合はASRTを高く保つために、反応タンクのMLSSを通常の1.5倍にする必要がある。そのためリンを取り込んだ汚泥を系外に排除できる割合が減少してしまうとも考えられる。

沼田川浄化センターでは2013年度までAOAO運転を行っていた。しかし2、4段目の曝気量が現在よりも多く、1、3段目に溶存酸素を含む水が逆流していた。また、ORP計が設置されていなかったため、1、3段目の嫌気性が保たれていたのか、確認できていなかった。

流入水質が2020年12月以降変化していることもあり、AOAO運転を行うならば、AOAO運転が放流水中の全リンの低減に有効であるか確認する必要がある。

7 2025年度以降の運転について

(1) 放流水中の全リン低減のため、今までと異なる運転を行う。

反応タンクのMLSSを水温、降水量に応じて変化させる。具体的には夏は1700mg/L以上、冬は2400mg/L以上とするが、夏から秋に降雨により流入水量が増加する場合は、完全硝化を行える範囲で調整する。AOAO運転は行わない

(2) 過去の運転との比較

2021年度から2024年度の運転と比較・評価を行う。

(3) AOAO運転の確認

2021年度から2024年度までの運転が優れていた場合、夏場に連続してAOAO運転を行い、結果の評価を行う。

8 まとめ

(1) 2020年12月から2021年11月は流入水のBODが低く、全リンが高かった。2021年12月以降もBODは以前より低く、リンの処理が以前より難しくなっている。

(2) 反応タンクの運転は放流水CODの低下を第1の目標とし硝化促進運転により完全硝化を目指す。また、全リンの低下を第2の目標とする。

(3) AOAO運転が放流水中の全リン低下に有効であるか2025年度以降に検証を行う。

参考文献

「下水道維持管理指針 実務編-2014年度版-」 日本下水道協会

「高度処理ナレッジ集～既存施設を活用した段階的高度処理の取り組み～」 平成 25 年度 高度処理ナレッジ創造戦略会議

平成 26 年度調査研究発表 「反応タンクの運転変更について(AOAO 法から A000 法へ)」ブルーテクノ、東広環境保全共同体他

