

調査研究事業報告書

令和6年3月

公益財団法人 広島県下水道公社

目

次

- 1 東部浄化センターの水処理施設の効率化に向けた実証実験について -----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栄養塩類の推移 -----8
(芦田川浄化センター)
- 4 沼田川浄化センターにおける COD 対策時の凝集ろ過に係る検討 -----13
(沼田川浄化センター)

東部浄化センターの水処理施設の効率化に向けた実証実験について

(公財) 広島県下水道公社業務部水質課
堂道和彦

1 はじめに

大量の電力を使用する下水処理場においては、近年の著しい電気料金の高騰により維持管理費が増大しており、一定の処理水質を確保した上での、効率的な運転が一層求められているところである。当センターでは、標準活性汚泥法によるⅠ系水処理施設（以下、Ⅰ系）と凝集剤併用型循環式硝化脱窒法によるⅡ系水処理施設（高度処理）の2系列で下水処理を行っており、Ⅰ系では嫌気好気運転を行っている。

今回、Ⅰ系の一部において、電力使用量削減を見据えた効率的運転方法の知見の蓄積を目的とする実証実験を行ったので報告する。

2 Ⅰ系反応タンクについて

Ⅰ系の構造等については、図1のとおり。

Ⅰ-1系・Ⅰ-2系は、更新工事により5槽となり、Ⅰ-3系・Ⅰ-4系の4槽と反応タンク内の構造が異なっている。1槽目が嫌気槽で、残り4槽が全面ばっ気による好気槽となっている。

反応タンクへの送風量の調整は、固定風量の送風機の運転台数の増減で行っており、通常は5段階で行っている。

3 調査場所

Ⅰ-1系のNo.1池～No.3池を実験系列とし、Ⅰ-2系のNo.4池～No.6池を対照系列とした。

4 調査期間

令和4年11月2日～令和5年6月29日

5 実験内容

(1) 期間

実験開始前	令和4年11月2日～令和4年11月14日
ステップ1	令和4年11月15日～令和4年12月6日
ステップ2	令和4年12月7日～令和5年1月23日
ステップ3	令和5年1月24日～令和5年3月6日
ステップ4	令和5年3月7日～令和5年4月26日
ステップ5	令和5年4月27日～令和5年6月29日

(2) 採水場所

No.2池・No.5池の最終沈殿池（以下、終沈）出口（図1の○地点）で24時間時間比例コンポジット採水

(3) 運転方法（送風量、汚泥返送率の変更）

表1のとおり実験系列と対照系列において、反応タンクへの送風量や汚泥返送率に差をつ

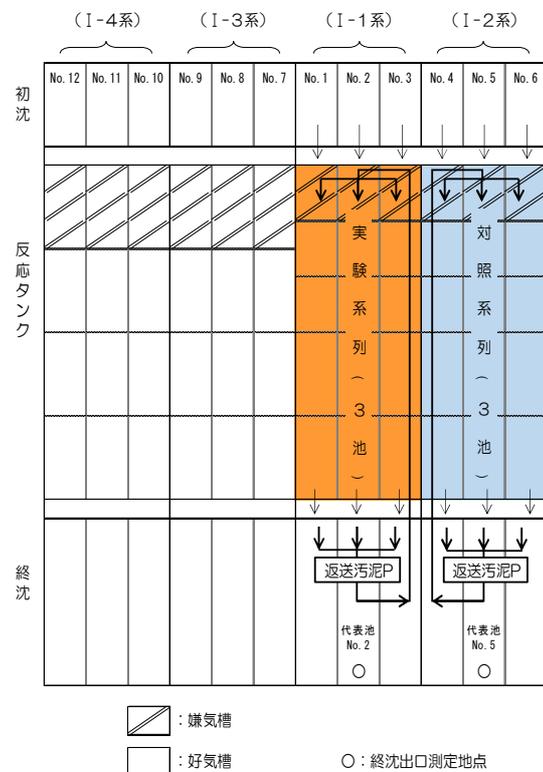


図1 I系構造図

け水処理を行い、それぞれの代表池である No. 2 池(実験系列)、No. 5 池(対照系列)の処理水質を測定した。なお、両池の反応タンク内の MLSS 濃度は同程度とし、送風量は、流入量及び流入負荷に応じて、以下の 3 段階で行った。

・大型 2 台	(送風能力 6,100~6,800 m ³ /h)
・大型 2 台、小型 1 台	(" 7,000~8,200 m ³ /h)
・大型 3 台	(" 8,500~9,700 m ³ /h)

表 1 各期間における運転方法(送風量・污泥返送率)の変更内容

	送 風 量	返 送 率
実験開始前	実験系列、対照系列とも同量	実験系列、対照系列とも同率 (30%)
ステップ 1	実験系列を対照系列より減少 ・大型 2 台小型 1 台運転時：30 m ³ /h 減少 ・大型 3 台運転時：60 m ³ /h 減少	実験系列、対照系列とも同率 (30%)
ステップ 2	実験系列を対照系列より減少 ・大型 2 台小型 1 台運転時：60 m ³ /h 減少 ・大型 3 台運転時：180 m ³ /h 減少	ステップ 1 と同じ
ステップ 3	ステップ 2 と同じ	実験系列 30%→20% 対照系列 30%→40%
ステップ 4	ステップ 1 と同じ	実験系列 20%→30% 対照系列 40%→30%
ステップ 5	実験系列を対照系列と同量に復帰	ステップ 4 と同じ

(4) 測定項目及び測定方法

COD、SS、全窒素(T-N)、全りん(T-P) : 下水道試験法に準拠

(5) 測定頻度

令和 4 年 11 月 2 日～令和 5 年 3 月 31 日 週 2 回

令和 5 年 4 月 1 日～令和 5 年 6 月 29 日 週 1 回

6 実験結果

(1) 送風量(送風倍率)について

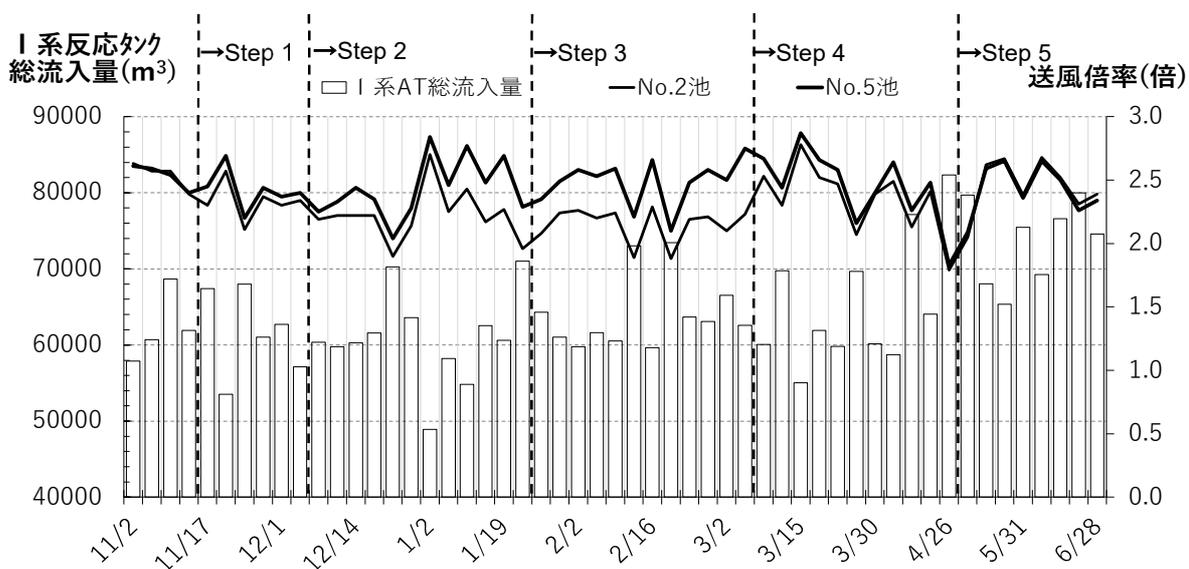


図 2 反応タンク流入量と送風倍率

実験系列(No. 2 池)及び対照系列池(No. 5)の「送風倍率」とI系の反応タンクへの「総流入量」を図2に示す。また、各ステップの送風倍率と送風量についての期間平均値及び差を表2に示す。

実験系列への送風量を減少させたことにより、結果的にステップ1～ステップ4の期間平均送風倍率は、2.2～2.4倍となり、対照系列の期間平均送風倍率(2.4～2.5)を、ステップ1で0.1倍、ステップ2で0.2倍、ステップ3で0.3倍、ステップ4で0.1倍下回った。また、送風量では期間平均値で480～1,800m³/日の差が生じ、ステップ3で最大となった。

(2) 水質測定結果等

実験系列(No. 2 池)と対照系列(No. 5 池)の終沈出口における、実験開始前及び各ステップの水質測定結果(期間平均値)等を表2に示す。

表2 終沈出口における水質測定結果及び送風量(期間平均値)

(単位: mg/L)

		水温 (°C)	COD	SS	全窒素 (T-N)		全りん (T-P)	送風 倍率 ^{※1}		送風量 (m ³ / 日)	
						差 ^{※2}			差 ^{※2}		差 ^{※2}
法定基準 (日最大値)	mg/L	—	20 (30)	40	60 (120)		8.0 (16)				
管理基準	mg/L	—	13	5	25		3.0				
目標値	mg/L	—	10	2	20		1.5				
実験開始前	No. 2池	24.9	11	8	24.3	0.5	1.5	2.5	0.0	13,190	40
	No. 5池	24.8	12	9	23.8		1.3	2.5		13,150	
ステップ1	No. 2池	23.5	11	8	22.7	0.5	1.9	2.3	-0.1	11,930	-480
	No. 5池	23.6	12	9	22.2		1.7	2.4		12,410	
ステップ2	No. 2池	20.4	13	10	25.3	1.4	1.7	2.2	-0.2	11,210	-1,080
	No. 5池	20.5	14	12	23.9		1.3	2.4		12,290	
ステップ3	No. 2池	18.8	16	14	26.9	4.9	2.7	2.2	-0.3	11,430	-1,800
	No. 5池	19.0	15	11	22.0		1.8	2.5		13,230	
ステップ4	No. 2池	21.1	14	11	24.9	2.6	1.9	2.4	-0.1	12,650	-540
	No. 5池	21.1	14	11	22.3		2.1	2.5		13,190	
ステップ5	No. 2池	25.0	10	7	19.6	1.1	1.0	2.5	0.1	14,970	120
	No. 5池	25.0	11	7	18.5		1.2	2.4		14,850	

※1 送風量/反応タンクへの流入量

※2 実験系列(No. 2 池)の値-対照系列(No. 5 池)の値

■ : 実験開始前に比べ悪化した、実験系列(No. 2 池)の水質データ

太字 : 管理基準を超えたもの(SSを除く)

(SSについては、終沈後ろ過施設にて除去されるため、管理基準(5mg/L)を超えても細字としている。)

(3) 各ステップの水質状況

ステップ1

COD・SSについては、実験開始前から濃度に変化はなかった。

T-Nについては、両池とも実験開始前より濃度が低下しているが、濃度差に変化はなかった。

T-Pについては、実験開始前と比べて0.4mg/L上昇したが対照系列との差は同じであった。

ステップ2

COD・SSについては、実験開始前に比べて上昇したが、対照系列も上昇した。また、CODについては、実験系列は管理基準(13mg/L)と同程度となったが、対照系列においては管理基準

を上回った。

T-Nについては25.3mg/Lと管理基準(25mg/L)を超過し、対照系列の濃度も上昇したが両系列の濃度差がステップ1より広がった。

T-Pについては、ステップ1より下がった。

ステップ3

COD・SSについてはステップ2よりさらに濃度が上昇した。また、CODについては、両系列とも管理基準(13mg/L)を超過し、実験開始後初めて実験系列が対照系列より高くなった。

T-Nについては26.9 mg/Lと、対照系列に比べ4.9 mg/L高くなり、ステップ2よりも更に管理基準(25mg/L)を上回った。両系列のステップ2の濃度差より約3倍に、実験開始前の濃度差とは約10倍に広がった。

T-Pについては、実験系列(No.2池)の濃度は2.7mg/Lと、対照系列(No.5池)の濃度(1.8 mg/L)を0.9 mg/L上回った。また、実験開始前の1.5mg/Lから1.2mg/L上昇し、当社のI系の目標値(1.5mg/L)を大きく超え、管理基準(3.0mg/L)に近づいた。

水質の4項目濃度がすべてステップ2より上昇し、水質の悪化が継続したため、これ以上のステップ3の継続は困難と考え、令和5年3月7日に水質回復のための操作(ステップ4)へ移行した。

ステップ4

COD・SSについては、ステップ3より濃度が減少したが、CODについては、両系列とも管理基準(13mg/L)は超過していた。

T-Nについては、ステップ3より濃度は下がり、対照系列との濃度差も縮まった。また、管理基準(25mg/L)を下回った。

T-Pの濃度もステップ3より低下した。

以上のことから、水質の回復傾向にあると考えられた。

ステップ5

COD・SSについては、ステップ4より濃度がさらに減少した。CODについては、目標値(10 mg/L)と同値になった。

T-Nについては、ステップ4よりさらに濃度は下がり、対照系列との濃度差も縮まった。また、管理基準(25mg/L)だけでなく目標値(20mg/L)をも下回った。

T-Pの濃度も実験開始前よりもさらに低下した。

以上のことから、処理水質は概ね実験開始前の状態に戻ったものと考えられた。

7 まとめと考察

送風量を段階的に削減することによって、水質は徐々に悪化した。汚泥返送率を減らすことによって、さらに水質が悪化した。汚泥返送率を元に戻し、さらに送風量を元に戻すことによって水質を実験開始前と同等程度に回復することはできたが、かなりの時間を要した。

ステップ2・3において水質が悪化したのは、送風量減少による硝化抑制の影響であり、さらにステップ3において水温低下(20℃以下)による活性汚泥中の微生物の活性低下によるものが加わった結果と考えられた。

実験開始前は、ステップ3において、実験系列の汚泥返送率の変更(30%→20%)により、返送汚泥量が減ることで、嫌気槽へのNO₃-Nの返送量が減少し、生物学的りん除去が進み、T-P濃度が低下するのではないかと考えていた。しかし、T-P濃度は実験開始前の1.5mg/Lから2.7mg/Lまで上昇し、濃度低下に繋がらなかった。これは、嫌気槽へのNO₃-Nの返送量が減少し、りんの吐き出し量は増えたが、実験開始前及びステップ1に比べ送風量が減少したことにより、好気槽で、りんの取り込みが充分出来なかったためと考えられた。

ステップ4・5において水質が回復傾向になったのは、汚泥返送率の変更(20%→30%)及び送風量の増加や水温上昇に伴う、硝化促進及び微生物の活性化と考えられた。

処理水質の回復に要す期間は、COD・SS等の推移から、今回は4か月程度(ステップ4及びステップ5の期間：令和5年3月7日～6月29日、計115日)と判断した。当該期間は、水温が20℃を超える時期であったが、この時期が、水温が低く微生物の活性が低い冬期になった場合は、回復に4か月以上の期間を要すると考えられる。

ステップ1では、処理水質(放流口)が管理基準を超過することはないと考えられたため、この時の対照系列(No.5池)との送風量の差(480m³/日)に基づき、I系全池(12池)において送風量を減少させた場合、全池で5,760m³/日の送風量を削減できるが、この削減量(5,760m³/日)は、現有の送風機(小型1台)の送風能力24,000m³/日より小さいため、送風機の台数を削減することはできなかった。また、送風機台数の削減ができないため、使用電力量の低減もできないことが分かった。

なお、I-3系とI-4系は、今回実験に使用したI-1系・I-2系と施設の構造が違うため、I系全池における送風量の削減を検討するに当たっては、I-3系及びI-4系における実証実験も必要である。

8 今後の対応

本実験では、汚泥返送率の変更(30%→20%→30%)を送風量の変更(ステップ2・3→4)に併せて行ったこと、及びステップ3で水温が低下(20℃以下)したことから、硝酸型硝化を含む生物処理の抑制の影響もあり、T-P以外の項目に対する汚泥返送率の変更による処理水質への影響を確認できなかった。

よって今年度は、汚泥返送率を低減することによる処理水質への影響を確認する実証実験を行い、次年度は、反応タンク内の活性汚泥濃度(MLSS)を変更することによる処理水質への影響を確認するため実証実験を行う予定である。

《謝辞》

今回の実証実験において採水分析等に多大な御協力をいただいた、ウォーターエージェンシー・安芸公営企業共同企業体水質管理業務担当の皆様には、深く感謝の意を表します。

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5年6月、12月

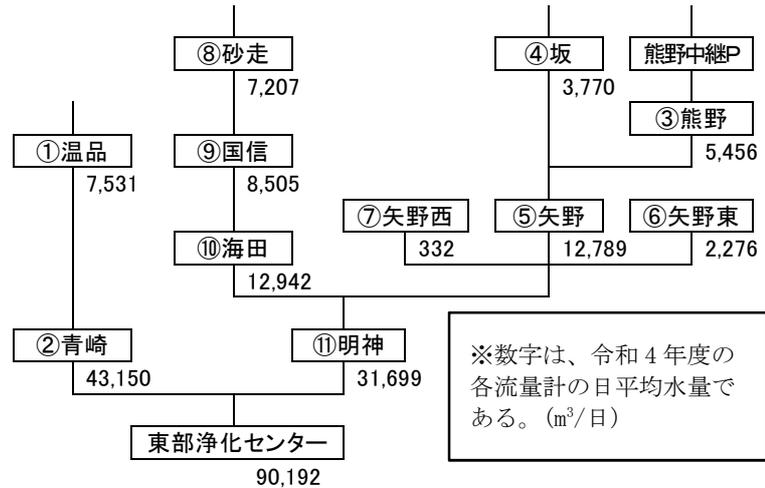
(2) 調査箇所

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。

すべての調査箇所において、下水道排除基準を超過した項目はなかった。

令和4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矢野西において12月に水素イオン濃度、浮遊物質量、化学的酸素要求量、亜鉛が高く、鉛が0.02mg/L検出されている。また、塩化物イオンについては、④坂で6月に510mg/L、12月に620mg/L、⑤矢野で6月に380mg/Lと数値が高く、海水に含まれる硫酸イオンも高めの数値である。

表1 令和5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	R4年度 流入水質 () 平均値
採水 月日	6/7 12/6	6/8 12/7	6/9 12/8	6/9 12/8	6/5 12/4	6/5 12/4	6/5 12/4	6/6 12/5	6/8 12/7	6/7 12/6	6/6 12/5	
採水 時刻	13:50 14:40	10:05 14:30	14:50 14:10	10:20 10:40	14:00 14:20	14:10 14:30	14:15 14:40	10:00 10:20	13:50 10:10	9:40 10:30	14:00 14:30	
水素イ ン濃 度	7.2 7.3	7.3 7.4	7.2 6.8	7.0 7.3	6.9 7.2	7.2 7.2	7.0 <u>8.5</u>	7.2 7.2	7.1 7.1	7.4 7.2	7.1 7.3	7.2~8.1 (7.4)
浮遊物 質量	99 120	160 120	130 120	120 91	170 140	130 150	99 <u>530</u>	170 230	150 250	200 250	170 230	76~200 (150)
化学的酸 素要求量	86 100	120 120	100 120	110 98	96 110	110 110	170 <u>280</u>	150 160	100 170	170 170	130 130	81~170 (120)
硫酸 イオン	17 16	28 39	18 18	75 96	60 32	13 14	15 26	19 23	17 18	19 23	30 34	

	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	R4年度 流入水質 () 平均値
塩化物 イオン	39 47	110 190	41 54	510 620	380 190	40 41	62 84	40 45	44 43	37 37	150 120	130~240 (170)
全水銀	ND ND	ND~ND										
シアン	ND ND	ND~ND										
カドミウム	ND ND	ND~ND										
鉛	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND 0.02	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND~ND
ヒ素	ND ND	ND~ND										
亜鉛	0.04 0.05	0.07 0.06	0.07 0.07	0.06 0.06	0.08 0.08	0.05 0.06	0.08 0.29	0.10 0.08	0.08 0.09	0.08 0.09	0.10 0.15	0.10~0.18 (0.13)
銅	0.02 0.02	0.02 0.02	0.03 0.03	0.02 0.03	0.03 0.03	0.02 0.02	0.02 0.04	0.03 0.03	0.02 0.03	0.02 0.03	0.05 0.52	0.02~0.03 (0.03)
全クロム	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）

(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、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栄養塩類の推移

(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4年度末で 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、りんの総量規制基準が適応されている。

平成26年度から、福山市公共下水道新浜処理区を接続し現在に至る。

令和4年10月に、瀬戸内海環境保全特別措置法に基づく「化学的酸素要求量、窒素含有量及びりん含有量に係る総量削減計画（広島県）」が見直され、豊かで美しい海づくりの推進のため、下水道業に係る冬季における能動的な管理運転の実証実験に特化した基準が設けられることとなった。

当センターにおける流入水量、COD、栄養塩類（窒素・りん）の処理実績に基づいて、削減計画を検討する。

2 調査方法

- (1) 調査期間 平成26年度から令和4年度末まで
- (2) 調査項目 流入水量、化学的酸素要求量、窒素含有量、りん含有量、降水量

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1000ミリ程度と全国平均の半分程度しか雨が降らない。

芦田川流域の降水量は令和5年8月から少雨傾向が続いており、12月31日から工業用水（中津原系）及び農業用水について20%の第1次取水制限が実施された。

芦田川浄化センターで測定している近年の降水量で特に少なかった年度は、令和元年約650mm、令和4年約460mmである。

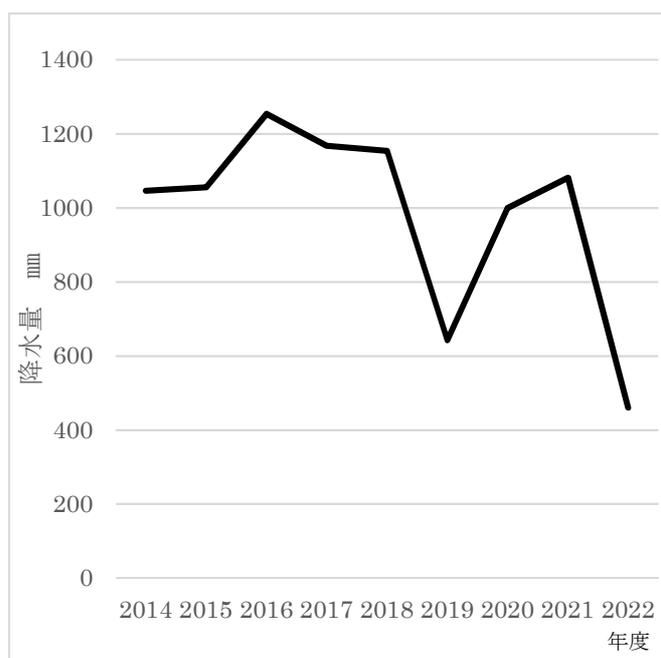


図1 芦田川浄化センターの降水量の推移

4 流入水量の推移

平成 26 年度から新浜処理区が芦田川流域下水道処理区域に含まれ、流入水量が大きく増加した。新浜処理区が含まれる前の流入水量は、80,000~90,000 m³/日程度で、図 2 のとおり、その後はほぼ横ばいで 110,000 m³/日弱程度で推移であるが、令和元年度の平均水量は 103,300 m³/日、令和 4 年度の平均水量は 99,300 m³/日と減少し、今年度も昨年度と同様の傾向である。

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の影響を受ける 6 月～9 月は水量が多いが、11 月以降の流入水量は減少している。

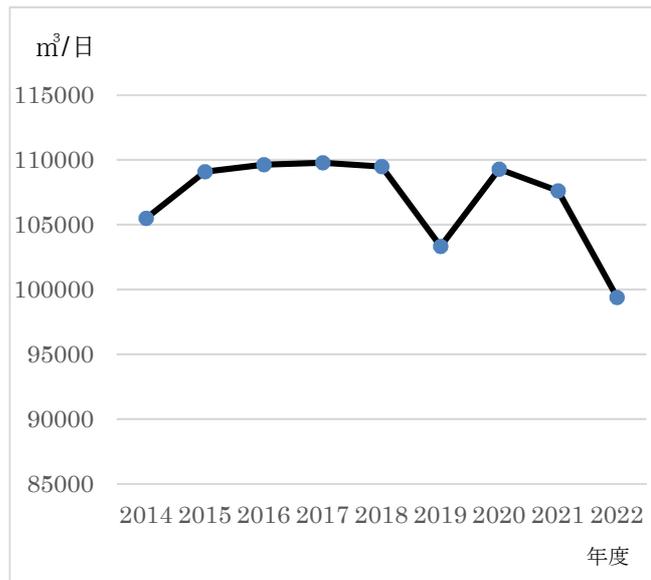


図 2 流入水量の推移

5 COD 処理状況

COD の処理状況は、図 3 のとおり年度によってばらつきがあるものの季節の大きな変化は少ない。なお、当浄化センターは標準活性汚泥による生物処理を基本としているため、水温低下に伴う処理能力の低下により、冬季の放流水質は若干上昇傾向である。

流入水の COD は、60~150 mg/L の範囲で平均値約 100mg/L で流入している。

放流水の COD は、8.7~13 mg/L の範囲で平均値約 11 mg/L で年間を通して安定している。

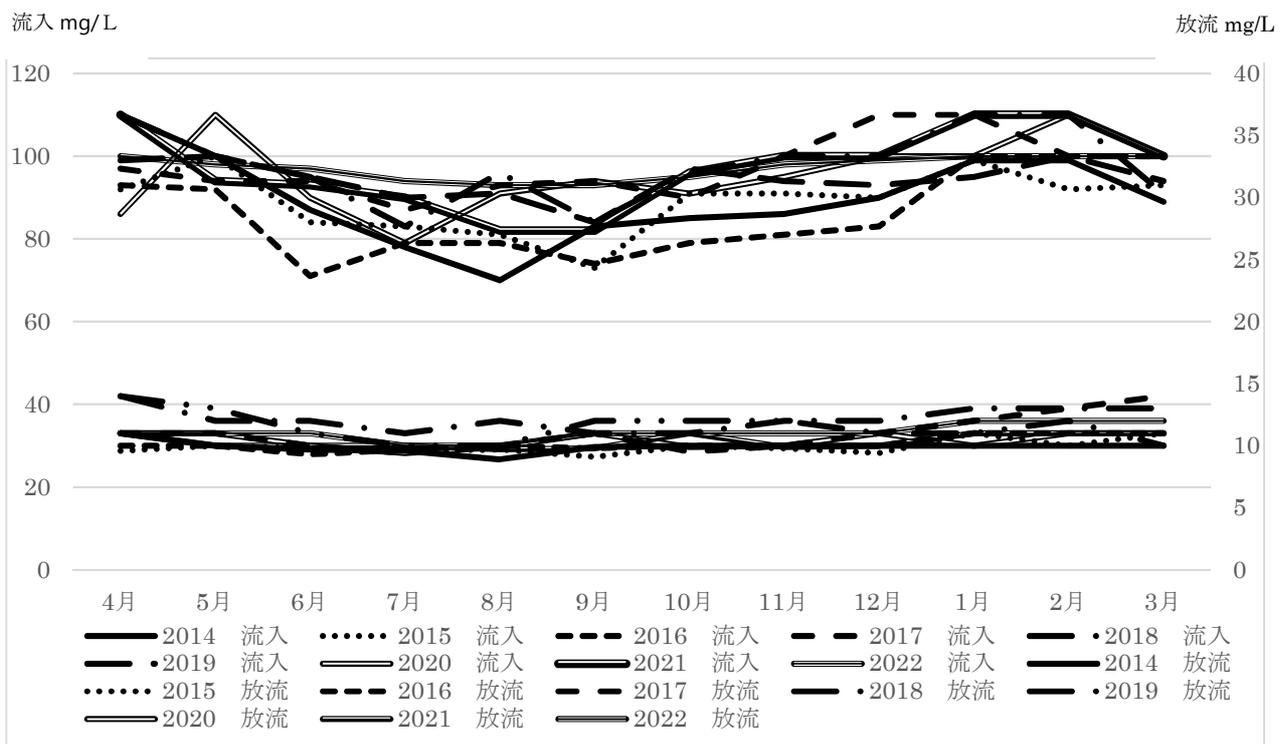


図 3 COD の年間推移

6 全窒素処理状況

流入水の全窒素は、図4のとおり年度によって数値は増減している。放流水の全窒素は、水温が低下する11月から3月の期間は、活性汚泥の微生物の能力が低下し数値が高くなる。

流入水全窒素は、23~39 mg/L の範囲で平均値 31mg/L 程度で流入している。

放流水全窒素は、10~27 mg/L の範囲で平均値 16 mg/L 程度で除去率は低い。

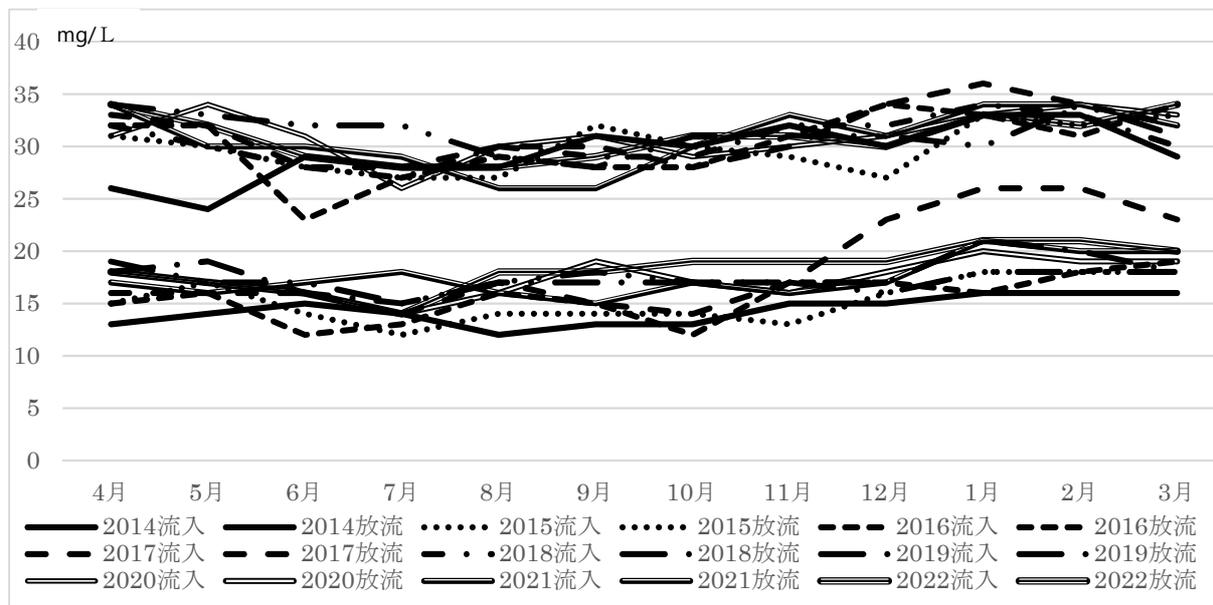


図4 T-Nの年間推移

7 全りん処理状況

流入水の全りんは、図5のとおり 2.2~5.0 mg/L の範囲内で平均値は 3.5 mg/L である。

放流水の全りんは、0.5~2.7 mg/L の増減があるが、平均値 1.0mg/L で推移。

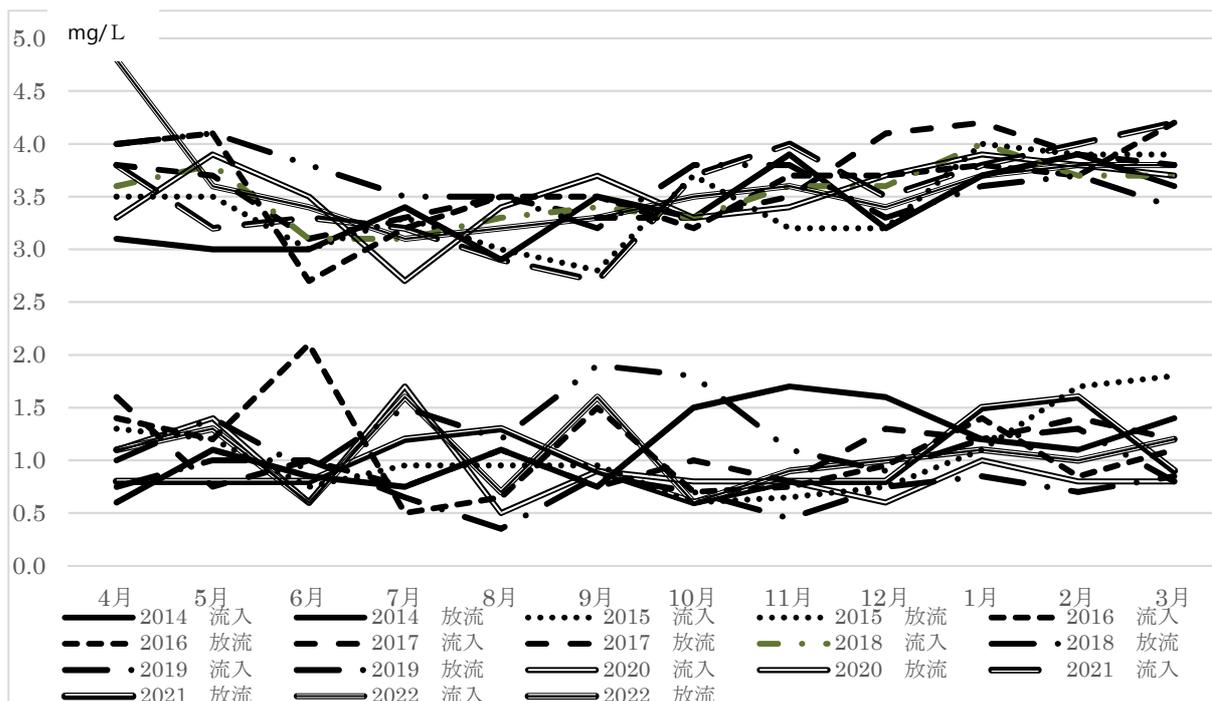


図5 T-P 年間推移

8 放流水水質状況

平成 26 年度から令和 4 年度までの放流水の COD、全窒素、全りんの水質状況は表 1 のとおりである。

下水処理場は、流入水量の著しい変化や気象状況の大きな変化に影響を受けるが、芦田川浄化センターは、これまで安定した放流水質を維持できていたと考える。

年間を通して放流水質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の微生物活性が低下する。また、生物脱りん法は、活性汚泥中のポリりん酸蓄積能力をもつ細菌の働きを利用して、汚泥中のりん含有量を高めることで、排水中からりんを除去するものであるが、流入水の変化により嫌気度が維持できない場合は、りんを蓄積した汚泥からりん酸を放出するため、運転に注意が必要である。

表 1 放流水の水質状況

	平均値	最大値	最小値
COD (mg/L)	11	13	8.7
T-N (mg/L)	16	27	10
T-P (mg/L)	1.0	2.7	0.5

9 瀬戸海環境保全特別措置法の改正

令和 4 年 10 月に、広島県は、恵み豊かな瀬戸内海の実現に向け、栄養塩類（窒素・りん）と水産資源の関連性に関する科学的知見の集積を目的とした、様々な検討や実証が円滑に行われる環境を整備するため、新たに下水道業における能動的管理運転の実証試験に特化した基準が創設された。

表 2 下水道業（通常処理）における C 値を変更した基準

現行基準		窒素含有量 (mg/L)		りん含有量 (mg/L)	
		既設	新增設	既設	新增設
現行基準		25	20	3	2
変更規準	通常	25	20	3	2
	実証試験	40	30	4	3

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、りん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。

なお、流入水質の全窒素の平均値は 31 mg/L、全りんの平均値は、3.5 mg/L であり、流入する時点で濃度が低いため、能動的管理運転の C 値以下である。

10 まとめ

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、毎年供用区域は微増しているが、流入水量・水質の大きな変化は認められない。

また、降雨による不明水の流入が減少したこと（管渠の改善等）から、降水量の減少などにより、気象の影響を除けば、流入水量に大きな変化はないと考える。

しかしながら、温暖化による地球規模の気象の変化により、豪雨・長雨や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。

当浄化センターは、栄養塩類の削減について、処理施設の構造上すべての反応槽で同一の運転はできないが、反応槽の特徴を生かした運転で、効率的な栄養塩類に対応した運転を検討することは可能である。瀬戸法の改正により栄養塩類の排出規制から、きめ細やかな管理が求められることとなったが、今後も効果的な省エネ運転及び適正な運転管理に努める必要がある。

沼田川浄化センターにおける COD 対策時の凝集ろ過に係る検討

三原支所 水質課 ○杉野秀治 万力悟 川高未侑

1 はじめに

沼田川流域下水道において、流入水の着色に伴う放流水 COD の急上昇が頻発している。よって、これらの濃度が排水基準に迫る濃度になった場合、緊急に低減する必要がある。

一般的な COD の低減方法としては、オゾン処理・活性炭処理のほかに、凝集剤-急速ろ過が挙げられる¹⁾。また、沼田川浄化センターには再生水用の上向流移床式ろ過設備²⁾（以下「ろ過設備」）があり、浮遊物質量の上昇を抑制するため、多くを余剰水として塩素混和池を通じて放流している。よって、ろ過設備で凝集ろ過を行えば、その余剰水の分、COD が除去され、放流水の濃度をより低減できる。ただし、凝集剤の使用に伴う他への影響も考えられる。

そこで、凝集ろ過時の COD 低減効果、使用リスク及びろ過池洗浄水による流入水の浄化について、当方での使用実績のある、ポリ塩化アルミニウム（以下「PAC」）とポリ硫酸第二鉄（以下「ポリ鉄」）で比較検討した。そして、凝集ろ過の実証実験に使用する凝集剤を決定した。

2 調査方法

(1) 水質試験

pH は JIS K 0102 12.1（ガラス電極法）、COD は JIS K 0102 17（100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量）、C-BOD は JIS K 0102 21（生物化学的酸素要求量）による。溶解性鉄は、HACH 社製 DR1900 を用いて、FerroVer[®]法により簡易的に測定した。

(2) 室内実験での凝集ろ過

室内実験での凝集ろ過は、試料に凝集剤を添加し、マグネットスターラーで可能な限り高速で 60 秒以上攪拌後、5 A のろ紙でろ過を行った。

(3) 原因事業場の排水に対する凝集剤の効果

原因事業場の排水は、同事業場直下流の公共下水道マンホールから採取した。そして、pH を測定しながら、排水 300mL に 0.1mL ずつ PAC（朝日化学工業株式会社製 塩基度 45～65wt%）を添加して、攪拌・静置を繰り返した。その際、目視でフロックの形成を確認し、凝集ろ過の注入率を決定した。そして、改めて凝集ろ過を行った後、COD を測定した。

(4) 注入率による凝集ろ過水質の変化

ア PAC

沼田川浄化センターの最終沈殿池出口水 275mL に、PAC 0、0.010、0.020、0.030、0.040、0.050、0.070mL をそれぞれ加えた 7 試料を作成し、pH を測定しながら凝集ろ過を行った後、COD を測定した。

イ ポリ鉄

沼田川浄化センターの最終沈殿池出口水 250mL に、ポリ鉄（日鉄鉱業株式会社製ポリ硫酸第二鉄「ポリテツ」）0、0.015、0.030、0.045、0.060、0.075mL をそれぞれ加えた 6 試料を作成し、pH を測定しながら凝集ろ過を行った後、COD・溶解性鉄を測定した。

(5) 中性への pH 変化に対する凝集物の安定性

使用リスクの低い凝集剤を選択するために、pH 7 に近づく変化の中での、PAC 凝集物とポリ鉄凝集物の安定性の基本的な違いを調べた。そのために、単純な組成の凝集物に対し液体滴下・分散・再凝集・沈降・上澄み除去を繰り返す中で、目視で外観を確認しながら、希釈した pH 標準液の滴下により凝集物周りの pH を 7 に近づけた。

ア 凝集物の作成

原因が難分解性 COD 成分であることを踏まえ、その代表的な原因物質³⁾で、原因事業場の製品に使用されているカラメル色素を、凝集物の作成に用いた。カラメル色素は、JIS K 1474 活性炭試験方法⁴⁾において、カラメル脱色性能の評価に使用されており、基本的な性質を確認する上でも適切と判断した。

なお、カラメルは、株式会社紅清製の食品添加物着色料（カラメル）を用いた。

(7) PAC による凝集物

0.448g/L カラメル溶液 500mL に水酸化ナトリウム溶液を加え pH12 程度に調整した。次に、PAC3.37mL 加え攪拌しフロック形成を確認した後、500mL メスシリンダーに移し静置させた。そして、上澄み 300mL を除き、凝集物の安定性試験に使用した。

(イ) ポリ鉄による凝集物

0.46g/L カラメル溶液 500mL に水酸化ナトリウム溶液を加え pH11.3 程度に調整した。次に、ポリ鉄 0.35mL 加え攪拌しフロック形成を確認した後、500mL メスシリンダーに移し静置させた。そして、上澄み 400mL を除き、凝集物の安定性試験に使用した。

イ 凝集物の安定性試験

(7) PAC

PAC については、次の一連の操作を 5 回繰り返した。なお、滴下した蒸留水もしくは希釈した中性りん酸緩衝液の順序は、後に示す表-5 のとおりである。

- ・作成した凝集物もしくは上澄みを除去した後の凝集物 200mL に、蒸留水もしくは希釈した中性りん酸緩衝液 300mL を滴下して分散させる。
- ・再凝集を確認し、沈降させた後、上澄み 300mL を除く。
- ・除いた上澄みの pH を測定する。

(イ) ポリ鉄

ポリ鉄については、次の一連の操作を 5 回繰り返した。なお、滴下した蒸留水もしくは希釈した中性りん酸緩衝液の順序は、後に示す表-5 のとおりである。

- ・作成した凝集物もしくは上澄みを除去した後の凝集物 100mL に、蒸留水もしくは希釈した中性りん酸緩衝液 400mL を滴下して分散させる。
- ・再凝集を確認し、沈降させた後、上澄み 400mL を除く。(5 回目については、上澄み除けず。)
- ・除いた上澄みの pH を測定する。(5 回目についてはメスシリンダー上部で測定)

(6) 凝集物と流入水の混合・攪拌後の上澄み水質比較

最初沈殿池での流入水の浄化に、凝集物が寄与する可能性を調べるため、凝集剤の種類・量を変えて凝集物を作成、流入水と混合・攪拌・静置した後、上澄みの水質の違いを比較した。

ア 凝集物の作成

沼田川浄化センターの最終沈殿池出口水 300mL に、PAC : 109mL(薬品)/m³(水) (以下「PAC①」)、255mL(薬品)/m³(水) (以下「PAC②」)、ポリ鉄 : 180mL(薬品)/m³(水) の割合でそれぞれ加えた 3 試料を作成、攪拌し、フロック形成を確認後、静置した。

イ 凝集物を含む液体の調整

流入水と混合後、容積が揃った状態で上澄みの水質を比較・評価するため、凝集物を含む液体を同じ容量に調整した。また、その上澄み部分も同じ COD に調整した。

具体的には、まず、容量を 30mL、上澄み部分の COD をポリ鉄の凝集沈殿処理後の上澄み濃度 (4.6mg/L) に決定した。そして、ポリ鉄の凝集物作成後に上澄み 30mL を採取し、ブランクとした。さらに、上澄みを除いて 30mL にしたものをポリ鉄とした。この上澄み濃度 4.6mg/L の 30mL 分の COD は 0.14mg である。よって、PAC①・PAC②については、PAC の凝集物作成後、上澄み部分の COD が 0.14mg になるように上澄みを除去し、精製水で 30mL にメスアップして上澄み濃度 4.6mg/L に調整した。その結果を表-1 に示す。なお、上澄み部分の COD 0.14mg は、凝集物自体の体積を無視して、上澄み濃度と凝集物を含む液体の容量 (0.03L)

を掛けた値である。また、凝集物中の COD も、凝集物自体の体積を無視して、次の式により算出した。

表-1 凝集物を含む液体の容量・COD 量

凝集物名	ブランク	PAC①	PAC②	ポリ鉄
凝集物を含む液体の容量 (mL)	30	30	30	30
上澄み部分の COD (mg/L)	4.6	4.6	4.6	4.6
〃 (mg/30mL)	0.14	0.14	0.14	0.14
凝集物中の COD (mg)	0	2.41	2.83	3.39
凝集物を含む液体の COD (mg)	0.14	2.55	2.97	3.53

凝集物中の COD (mg)

=凝集沈殿前の全体の COD (mg) - 凝集沈殿後の上澄みの COD (mg)

≒最終沈殿池出口水 COD (mg/L) × 0.3 (L) - 各凝集沈殿後上澄み COD (mg/L) × 0.3 (L)

ウ 流入水との混合・攪拌・上澄み水質比較

沼田川浄化センターの流入水 900mL に、ブランク及び PAC①・PAC②・ポリ鉄の凝集物を含む液体をそれぞれ加えた 4 試料を作成し、マグネットスターラーにより可能な限り高速で 2 分間攪拌後、1L メスシリンダーに移して 1 時間静置した。そして上澄み 400mL をそれ

ぞれ採取し、COD・C-BODを測定した。

3 結果と考察

(1) 原因事業場の排水に対する凝集剤の効果

排水 300mL に PAC 0.5mL を注入（注入率：概ね 1,700 mL(薬品)/m³(水)）することに決定し、凝集ろ過を行った。また、凝集剤を加えない、5 A のろ紙による通常のろ過も併せて行った。ろ過前後の外観と各試料の COD を写真-1 に示す。結果、PAC による着色・COD の低減効果が確認された。

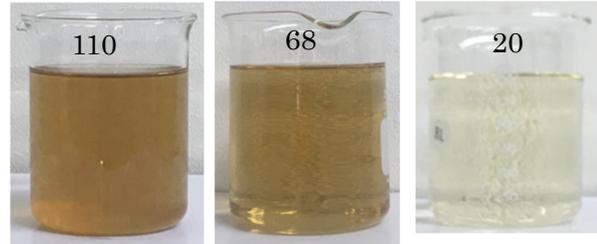


写真-1 原因事業場排水のろ過前後の外観
(左:ろ過前 中:通常のろ過後 右:凝集ろ過後 数値:COD(mg/L))

(2) 注入率による凝集ろ過水質の変化 ア PAC

原因事業場の排水の影響が比較的大きい最終沈殿池出口水について、PAC の注入率を変えて凝集ろ過を行った。その結果を表-2

表-2 PACによる凝集ろ過結果(排水の影響大)

サンプル No.	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7
PAC 注入率(mL/m ³ (水))	0	36	73	109	145	182	255
ろ過前 pH	6.6	6.4	6.3	6.1	6.0	5.9	5.6
ろ過後 COD (mg/L)	13	10	7.9	6.9	6.5	6.3	5.9

注) 凝集ろ過前 COD: 13mg/L

・図-1 に示す。また、排水の影響が比較的軽微な最終沈殿池出口水についても、PAC の注入率を変えて凝集ろ過を行った。その結果を表-3・図-2 に示す。

どちらも着色・COD を低減できた。そして、排水の影響の大きい方に高い低減効果が認められた。また、凝集剤特有の過注入時における低減効果等の悪化は認められず、pH 変化も軽微であった。よって、緊急時には可能な限り大量に注入でき、即応しやすいことが明らかになった。

ただし、注入率を上げても、ろ過後の COD はどちらも 5~6mg/L に収束する傾向であった。

また、排水の影響の大小に関係なく、ろ紙の閉塞は No. 2 が顕著で、ろ過に 2~3 時間を要したが、他は 10~30 分でろ過できた。

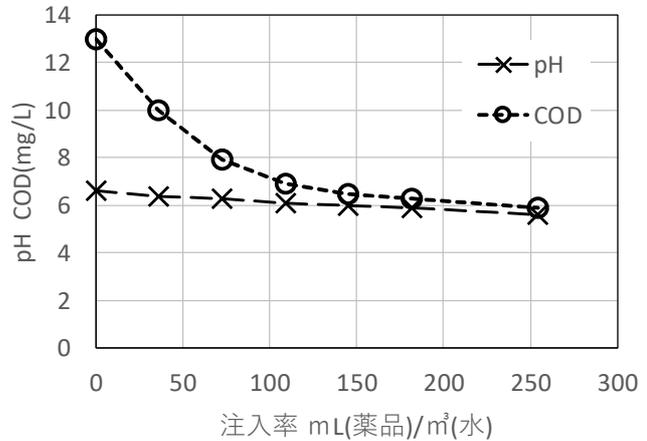


図-1 排水の影響が大きい最終沈殿池出口水の PAC による凝集ろ過結果

表-3 PACによる凝集ろ過結果(排水の影響軽微)

サンプル No.	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7
PAC 注入率(mL/m ³ (水))	0	36	73	109	145	182	255
ろ過前 pH	6.7	6.4	6.2	6.0	5.9	5.8	5.6
ろ過後 COD (mg/L)	8.6	7.2	6.1	5.5	5.6	5.4	5.2

注) 凝集ろ過前 COD: 9.2mg/L

イ ポリ鉄

排水の影響が比較的大きい最終沈殿池出口水について、ポリ鉄の注入率を変えて凝集ろ過を行った。その結果を表-4・図-3 に示す。結果、着色・COD を低減できた。しかも、PAC に比べて低い COD が得られた。ただし、過注入により着色・COD の低減効果が悪化した。そこで、排水基準項目である溶解性鉄も調べた結果、その濃度の増加と低減効果の悪化が一致した。よって、事前に適切な注入率を確認する必要があると認められ、緊急時に即応しにくいことが判明した。

なお、ろ紙の閉塞は No. 2 が顕著で、ろ過に 1 時間以上を要したが、他は 10~30 分でろ過できた。

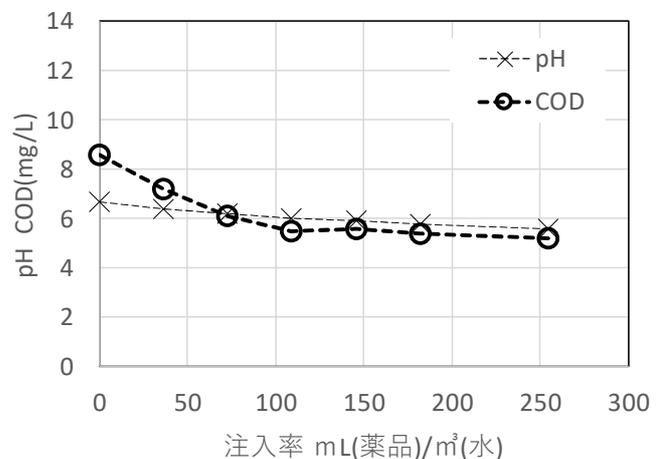


図-2 排水の影響が軽微な最終沈殿池出口水の PAC による凝集ろ過結果

また、図-3から、最適 pH は概ね 5 と推定され、排水基準 (5.8~8.6) を超える可能性が認められた。このほか、pH6.1 の No.2 では、フロック形成を目視で確認できなかった。

表-4 ポリ鉄による凝集ろ過結果

サンプル No.	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
ポリ鉄注入率 (mL/m ³ (水))	0	60	120	180	240	300
ろ過前 pH	6.9	6.1	5.6	4.8	3.6	3.3
ろ過後 COD (mg/L)	12	8.5	5.6	4.7	5.0	5.4
ろ過後 溶解性鉄 (mg/L)	0.08	0.47	0.09	0.11	0.49	2.1

注) 凝集ろ過前 COD : 12mg/L

ウ 使用リスクに係る考察

沼田川浄化センターの処理環境は概ね pH6.5~7.0 で、pH6 を概ね下回ることではない。よって、ポリ鉄凝集物は、逆に凝集状態を維持できないおそれがある。

このことから、ポリ鉄による凝集ろ過を止めると、最終沈殿池出口水が pH6.5 以上であるため、ろ過設備内が pH6 以上になり、内部のろ過捕捉物がろ過水に漏出する可能性がある。

また、ろ過池洗浄水は常時排出されており、通常の処理系統に戻されて流入水と混合後、最初沈殿池に送られる。そして、ろ過捕捉物は沈降し汚泥処理に送られる設計になっている。よって、ポリ鉄の凝集物は、概ね pH7 の流入水と混合すると不安定になり分散し、最初沈殿池で沈降しにくくなることも考えられる。

ポリ鉄は、現状でも別用途に使用することがある。よって、今回の凝集ろ過だけでなく、凝集剤の様々な使用にも参考とするため、一般的な PAC・ポリ鉄凝集物について、周りが pH7 に近づく変化の中で、安定性の基本的な違いを調べた。そして、前述のような使用リスクが発生しにくい凝集剤を選択することにした。

(3) 中性への pH 変化に対する凝集物の安定性

ア pH の変化

表-5 に、凝集物に滴下した溶液の順序と、それにより分散させた後の再凝集沈降時の上澄みもしくはメスシリンダー上部 pH を示す。結果、PAC・ポリ鉄両方とも凝集物周りの pH を 7 に近づけることに成功した。

表-5 滴下順序と凝集物沈降後の上澄み・上部 pH

滴下した液体	pH	
	PAC	ポリ鉄
1 回目 蒸留水滴下	5.6	4.7
2 回目 蒸留水滴下	5.6	4.7
3 回目 100 倍希釈中性りん酸緩衝液	5.9	6.7
4 回目 10 倍希釈中性りん酸緩衝液	6.9	6.8
5 回目 10 倍希釈中性りん酸緩衝液	7.0	6.8

イ 凝集物の安定性

PAC の凝集物は、全ての試料において、分散後速やかに再凝集し沈降した。また、凝集物の見かけの体積は全て 120~140mL で安定していた。採取した上澄みも概ね透明であった。

一方、ポリ鉄の凝集物は大きく変化した。具体的には、pH7 に近づいた 3 回目から、再凝集に 1 時間以上を要し、上澄みも茶色に呈色し始めた。そして、4 回目には、さらに再

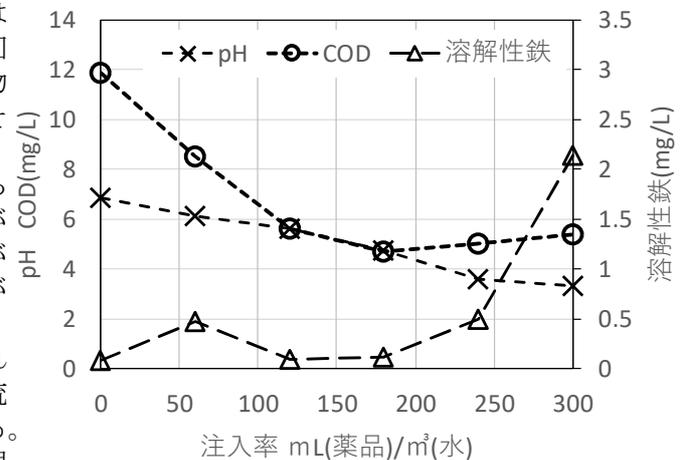


図-3 最終沈殿池出口水のポリ鉄による凝集ろ過結果

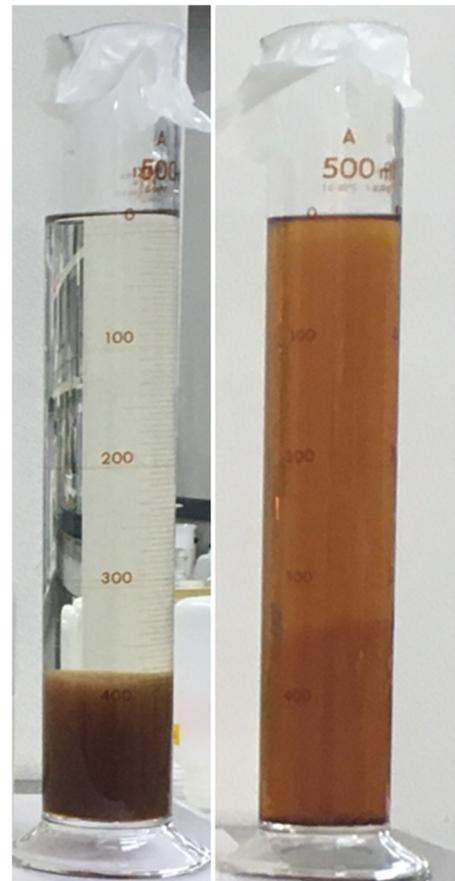


写真-2 滴下 5 回目の分散再凝集沈降確認時の状況 (左:PAC 右:ポリ鉄)

凝集後の凝集物の見かけの体積が減少し、5回目には、分散したまま再凝集しなくなった。5回目の分散再凝集沈降確認時の状況を写真-2に示す。よって、ポリ鉄による凝集物は、流入水と混ぜると不安定になる可能性が認められた。そのため、凝集物の一部は最初沈殿池で回収できず、捕捉したCOD成分とともに反応タンクに流入することが考えられた。

PACは、上水道において凝集沈殿処理に使用されている。そして、汚泥処理も含め、概ねpH7付近で問題なく処理されている。この現状と今回の実験結果は矛盾しない。よって、PAC凝集物は、ポリ鉄凝集物より安定しており、使用リスクは低いと考えられた。

なお、ろ過池洗浄水と流入水を攪拌等により完全に混合できれば、ろ過設備での凝集剤の注入が、最初沈殿池での浄化に寄与することも考えられる。よって、凝集剤の種類・量の異なる凝集物と流入水を混合、静置した後、上澄みの水質を比較した。

(4) 凝集物と流入水攪拌後の上澄み水質比較

凝集剤の種類・量の異なる凝集物と流入水を混合・攪拌・静置した後の、上澄みのCOD、C-BOD等のグラフを図-4に示す。

結果、PACについては、注入率を上げるとCOD・C-BODの両方とも低下した。よって、最初沈殿池で流入水の浄化にも寄与することが期待された。

一方、ポリ鉄については、C-BODは低下したが、CODは微増であった。少なくともCODについては浄化を期待できないことが分かった。

よって、ろ過設備におけるPACの注入は、最初沈殿池での流入水の浄化にも寄与する可能性が認められた。

そして、前述のPACの室内実験結果から、凝集ろ過時の過注入の悪影響もなく、pH変化も軽微で、即応しやすく、その凝集物はpH変化に対し安定しており、使用リスクが低いことも判明している。したがって、実証実験にPACを使用することに決定した。

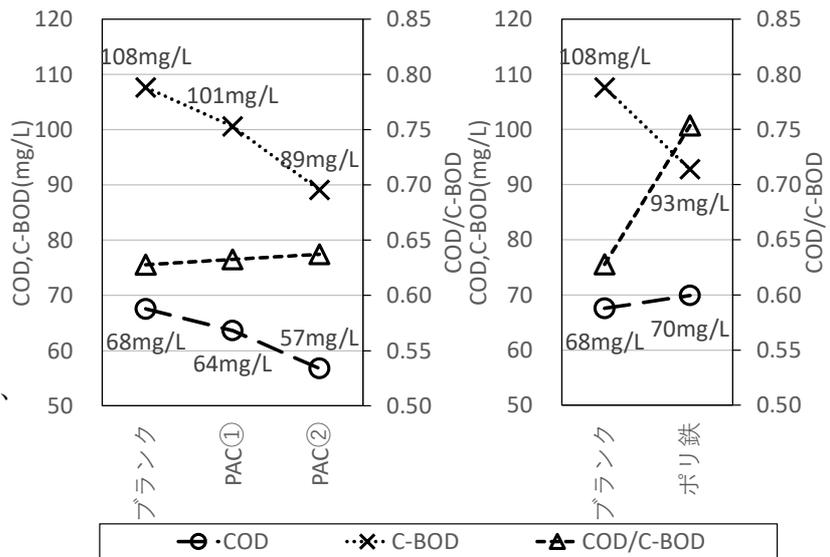


図-4 凝集剤の種類・量の異なる凝集物と流入水を混合・静置した後の上澄み水質の比較

4 まとめ

ろ過設備で凝集ろ過を行うため、使用する無機凝集剤（PAC・ポリ鉄）を検討した。

まず、室内実験で注入率を変えて最終沈殿池出口水を凝集ろ過した。結果、PACでは凝集剤特有の過注入時における低減効果等の悪化は認められず、pH変化も比較的軽微であった。

また、基本的な凝集物の安定性を確認した。結果、PACの凝集物は、周囲のpHが変化しても安定しており、使用リスクはポリ鉄より低いと考えられた。

そして、凝集剤の種類・量の異なる凝集物をそれぞれ流入水と混合・攪拌し、静置後の上澄みの水質を調べた。結果、PAC凝集物でCOD等の低下が認められ、ろ過池洗浄水と流入水を完全に混合できれば、ろ過設備でのPAC注入が最初沈殿池での浄化に寄与することも期待された。

よって、ろ過設備における実証実験にPACを使用することに決定した。

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.110~111(1999)
- 2) 三機化工建設株式会社 HP：水処理分野 ダイナサンドフィルタ、<https://www.sanki.co.jp/skk/solution/mizusyori/mizusyori01.html> (2023年12月アクセス)
- 3) 山本一郎：高機能イオン結合型水処理剤「ケーイーリリーフ」による排水のCODと色度の高度処理、加工技術、Vol.43、No.1、pp.80~82(2008)
- 4) 日本工業標準調査会編：JIS K 1474:2014 活性炭試験方法、一般財団法人日本規格協会、pp.13~14(2014)

