

調査研究事業報告書

令和8年3月

公益財団法人 広島県下水道公社

目

次

1	I系脱水ケーキ含水率上昇と各種測定値の関係	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における有機酸と下水処理の関係について	8
	(芦田川浄化センター)	
4	COD対策時のポリ硫酸第二鉄による凝集ろ過に係る調査	11
	(沼田川浄化センター)	

I系脱水ケーキ含水率上昇と各種測定値の関係

(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

太田川東部浄化センター（以下、当センター）では、I系は標準活性汚泥法＋急速砂ろ過法、II系は凝集剤併用型循環式硝化脱窒法＋急速砂ろ過法による処理施設が整備され、下水処理を行っている。

処理の過程で発生した汚泥は、濃縮、消化した後に、I系ではベルトプレス脱水機3基及び遠心脱水機1基、II系では遠心脱水機2基で脱水し、発生した脱水ケーキは、コンポスト化及びセメントの原料に使用することで有効利用を図っている。

脱水ケーキは多くの水分を含み、含水率を低減させることは、汚泥の重量及び体積を減少させることにつながり、処理コストの削減において重要である。そのため、含水率低下の様々な試みが各下水処理場でなされている。

近年、当センターではI系脱水ケーキの含水率が上昇傾向（図1）であり、特に冬季は目標値（4基運転時…80.8%、3基運転時…81.8%）超過がたびたび見られる。

汚泥に含まれる有機物は水と親和性が高く、汚泥中に有機物の割合が増えれば含水率は上がることが知られているため、今回、汚泥が含む有機物の割合変化等を調査した。

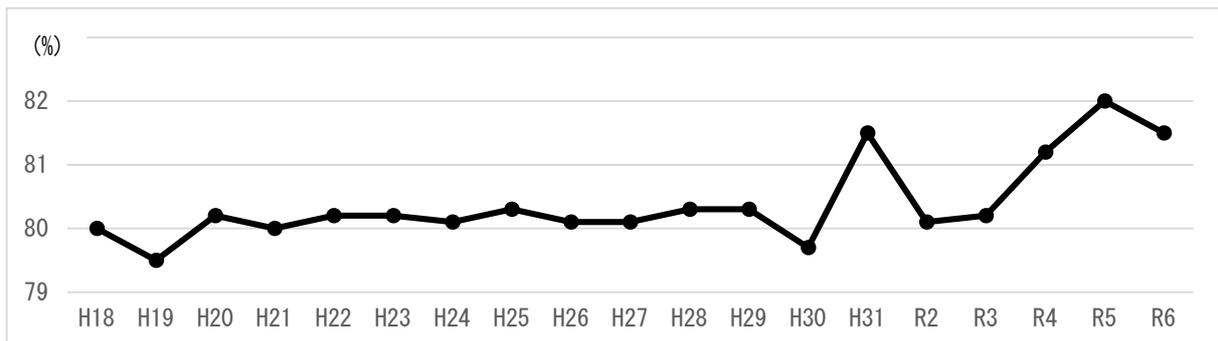


図1 I系脱水ケーキ含水率の変化（年度平均値）

2 当センターの汚泥処理

当センターI系の汚泥処理の概要を図2に示す。

汚泥は、下水処理の過程で、最初沈殿池と最終沈殿池で汚泥が発生する。これらの汚泥は、それぞれ重力濃縮槽と遠心濃縮機で濃縮され、混合汚泥貯留槽に入れられた後、No.1～No.4の4基の消化槽に投入される。

各消化槽では汚泥を37℃程度に加温し、攪拌しながら約30日間かけて消化する。この工程により汚泥中の有機物をメタンガスと炭酸ガスと水に分解する。

消化の後に残った汚泥（消化汚泥）は、消化槽から引き抜かれ、水分を絞りやすくなるよう高分子凝集剤を添加した後、脱水機で脱水ケーキにし、場外へ搬出している。

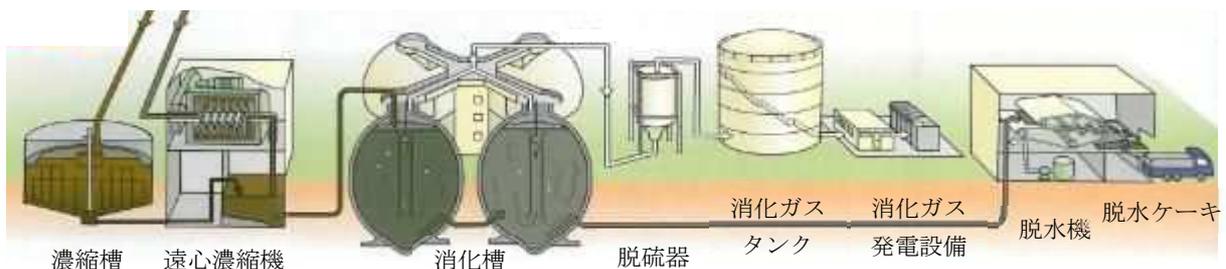


図2 汚泥処理施設概要

3 調査方法

過去 10 年間の汚泥が含む有機物の割合変化を調査することとした。

汚泥が含む有機物の割合は、流入水質の変化による影響を受けている可能性があることから、同期間で流入水の水質試験データも調べた。

また、重力濃縮汚泥の濃度の推移についても調べた。

(1) 調査対象期間

平成 27 年 4 月 1 日～令和 7 年 3 月 31 日

(2) 調査対象

- ア I 系の各処理工程で発生する汚泥の強熱減量
(初沈汚泥、余剰汚泥、混合濃縮汚泥、消化汚泥、脱水ケーキ)
- イ 流入水質 (水温、透視度、pH、浮遊物質、BOD、COD、全窒素、全りん)
- ウ 重力濃縮汚泥濃度

4 調査結果

(1) 初沈汚泥、余剰汚泥、混合濃縮汚泥、消化汚泥及び脱水ケーキの強熱減量

平成 27 年度から令和 6 年度の各種汚泥及び脱水ケーキの強熱減量の年平均値変化を図 3 に示した。強熱減量、すなわち有機物の割合は、この 10 年間で増加傾向がみられた。

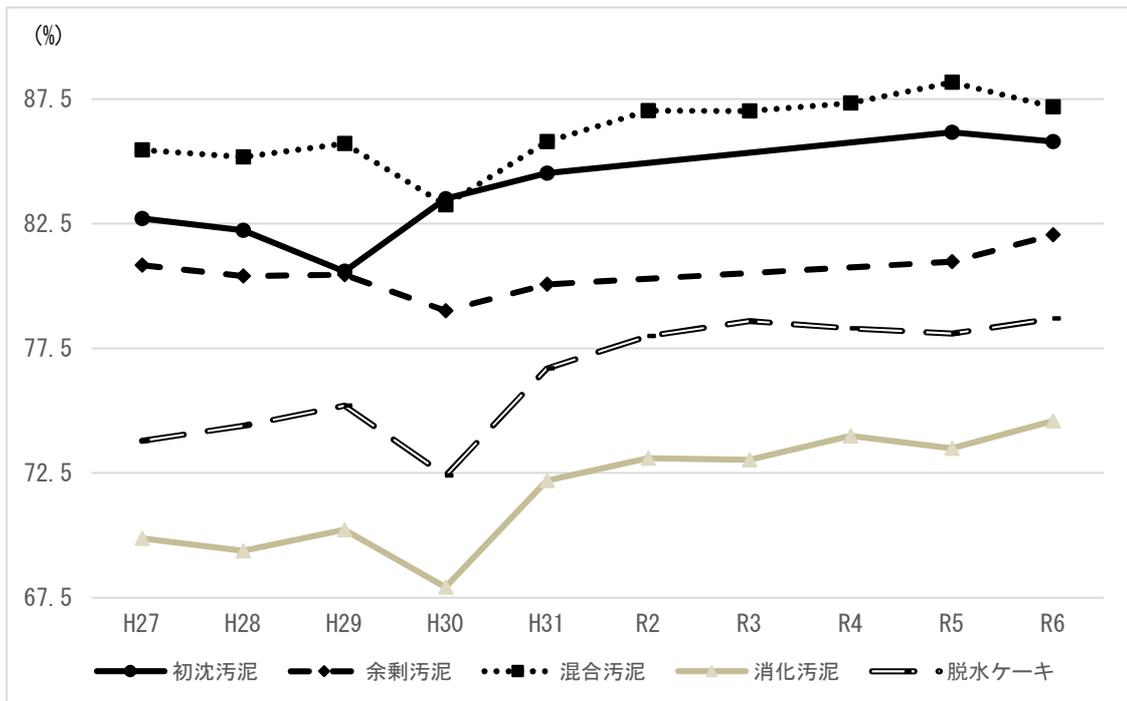


図 3 各汚泥及び脱水ケーキの強熱減量の変化

各汚泥の平成 27 年度と令和 6 年度の強熱減量の比較を表 1 に示した。どの汚泥も測定値は増加していたが、特に初沈汚泥と消化汚泥の増加量が大きかった。

表 1 H27 年度と R6 年度の強熱減量の比較 (単位：%)

	H27	R6	変化量
初沈汚泥	82.7	85.8	+3.1
余剰汚泥	80.8	82.1	+1.3
混合濃縮汚泥	85.5	87.2	+1.7
消化汚泥	69.9	74.6	+4.7

(2) 流入水質

調査対象期間中の流入水質の各年度平均値を表 2 に示す。流入水質においては、各測定項目の値に大きな変化はみられなかったが、BOD 値及び COD 値は若干の上昇傾向がみられた。

表 2 各年度の流入水質

	H27	H28	H29	H30	H31	R2	R3	R4	R5	R6
水温(°C)	22.0	22.2	22.1	22.3	22.5	22.3	22.0	22.4	22.7	22.5
透視度(度)	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
pH	7.4	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.3	7.3
浮遊物質(mg/L)	150	140	140	140	130	130	130	150	140	130
BOD(mg/L)	160	160	170	170	170	170	170	180	180	170
COD(mg/L)	98	99	99	100	100	100	110	120	110	100
全窒素(mg/L)	29	28	30	30	29	28	28	31	31	30
全りん(mg/L)	3.6	3.6	3.6	3.7	3.5	3.3	3.3	3.7	3.8	3.5

(3) 重力濃縮汚泥濃度

平成 27 年度から令和 6 年度の重力濃縮汚泥濃度の年平均値変化を図 4 に示した。調査期間において、重力濃縮汚泥濃度は低下傾向がみられた。

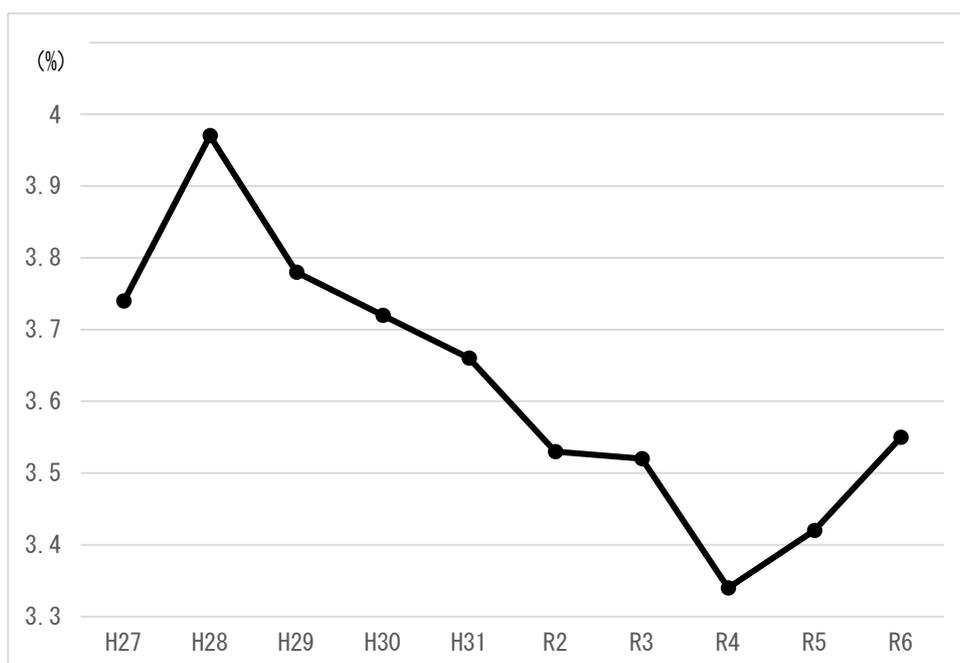


図 4 重力濃縮汚泥濃度の変化

5 考察

(1) 流入水質の変化

脱水ケーキの含水率は、平成 27 年度から令和 6 年度までの間で上昇傾向にあったため、各汚泥の強熱減量の値を調べたところ、初沈汚泥と消化汚泥の変化量が余剰汚泥、混合濃縮汚泥と比較し、上昇の割合が大きいことが分かった。

まず、初沈汚泥において有機物の割合が増える原因として、流入水質の悪化を疑い、調査対象期間中の流入水の水質試験結果を調べたところ、各項目の測定値に大きな変化は見られなかったものの、BOD 値及び COD 値に若干の上昇傾向がみられ、流入水中の有機物濃度が増加している可能性が示唆された。

BOD 値及び COD 値に上昇傾向がみられた明確な原因は不明であるが、一つの可能性として、新型コロナウイルス流行に伴う活動自粛及び業務縮小によって、事業所からの排水量が減少

した結果、流入水中の生活排水の割合が増加したことが要因ではないかと推測した。生活排水と事業排水の当センターへの流入水量の割合は定かではないが、当センターへの流入水量は令和4年度に大きく減少し（表3）、それ以降も令和3年度以前の水準には戻っていない。しかし、処理区域人口は令和3年度と比較し、令和6年度は増加している（図5）ことから、事業排水量が減少した一方、生活排水量は増加したと推測した。

表3 流入水量 (単位m³/日)

H27	H28	H29	H30	H31	R2	R3	R4	R5	R6
96,670	97,812	95,215	96,550	93,791	96,681	96,907	90,192	91,692	93,823

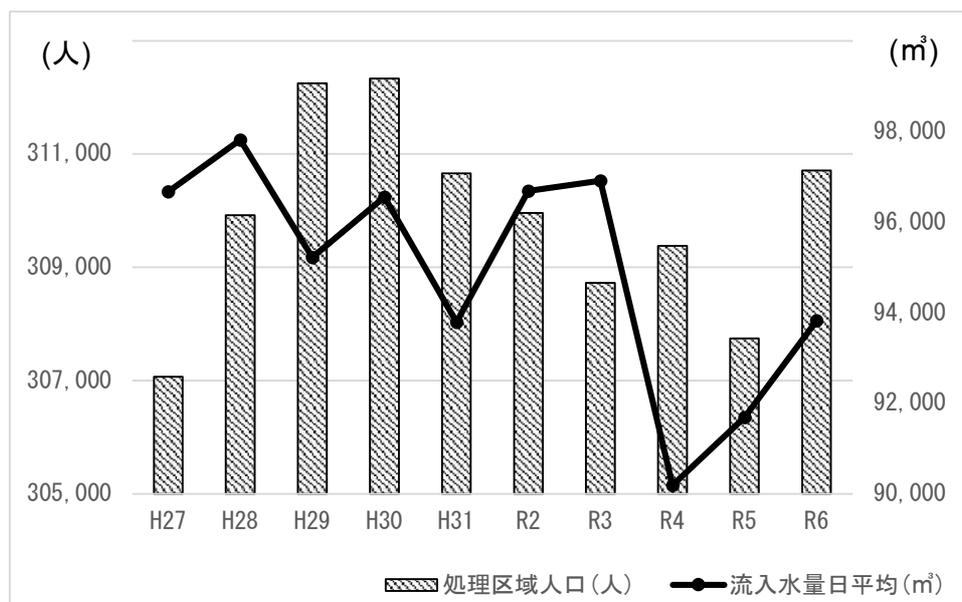


図5 処理区域人口と流入水量の変化

(2) 汚泥が含む有機物の変化

つぎに、消化汚泥の強熱減量上昇の原因について、No. 1～No. 4 の各消化槽における強熱減量変化（表4）に着目したところ、平成31年度以降、No. 2 及び No. 4 消化槽の強熱減量の値が上昇していた。

これは平成30年度に、No. 1→No. 2 及び No. 3→No. 4 の2基の消化槽を使用した2段階の消化（以下、2段階消化）から、1基で消化を完結させる単段消化へ運転を変更したことが主な要因として考えられた。この変更により、単段消化は2段階消化と比較すると、消化効果が減弱しており、残存有機物の割合が増加した消化汚泥の脱水を行うこととなり、含水率増加につながったと考えた。

(3) 重力濃縮汚泥濃度の変化

重力濃縮汚泥濃度は、調査期間において、3.74%→3.55%へと若干の低下傾向がみられた。当センターでは、省コストを目的として、重力濃縮汚泥を可能な限り濃度高く引き抜くことで汚泥の減容化を実施している。そのような運転にもかかわらず、濃度が低下傾向にあるのは、汚泥中の有機物濃度の上昇により、濃縮が困難になっている可能性が示唆された。

表 4 No. 1～No. 4 消化槽循環汚泥の強熱減量 (単位：%)

	No. 1 消化槽	No. 2 消化槽	No. 3 消化槽	No. 4 消化槽
	2 段消化			
H27	72.6	→ 69.8	72.2	→ 69.9
H28	71.8	→ 69.2	72.0	→ 69.4
H29	72.8	→ 69.9	73.1	→ 70.4
H30	71.6	→ 67.5	70.8	→ 70.0
	単段消化			
H31	72.2	71.9	72.5	72.4
R2	73.1	73.0	72.8	73.2
R3	72.9	72.9	73.3	73.1
R4	73.9	73.8	74.2	74.0
R5	72.6	73.5	73.7	73.7
R6	74.6	74.5	74.6	74.6

6 まとめ

含水率上昇の原因として、汚泥の質変化や凝集剤との相性、脱水機の老朽化等、様々なことが考えられるが、今回、汚泥の質に着目し、その変化の傾向を調査した。

今回の調査では、I系脱水ケーキの含水率上昇の原因として、流入水中の有機物濃度の上昇及び消化方式の変更が影響を与えた可能性があることがわかった。

有機物濃度の上昇については、BOD、COD 及び初沈汚泥の強熱減量の測定値に上昇傾向がみられ、流入水中の有機物濃度の上昇が疑われるため、この傾向が今後も続くのか、引き続き注視する必要がある。

また、消化方式の変更については、含水率低減のためには消化方式を2段消化に戻すことが有効であると思われる。

しかし、運転方法を変更した理由は、消化槽の定期保守点検の際、2段消化であったため槽を2基使用休止し点検を実施していたところ、攪拌の止まった休止消化槽から、ガスが噴き出すという事故があったためであり、2段消化を実施するには、この事象が再度発生しないよう、運転管理を行う委託業者との事前協議が必要であり、慎重な判断が求められる。

現在、行うことが出来る対策は、すでに実施しているが、含水率の値をモニタリングしつつ、数値が上昇した際には、その原因を分析し、随時、実施可能な対応を行っていくこととしたい。

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（以下「浄化センター」という。）は、広島市の東部、府中町、海田町、熊野町及び坂町の1市4町から発生する下水を処理する終末処理場である。

幹線管渠には、流域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年度から場外流量計設置箇所の人孔にて、年2回の水質調査を行っている。

については、今年度の調査結果について報告する。

2 調査概要

(1) 調査時期

令和7年5月、12月

(2) 調査箇所

流量計設置人孔11箇所
(図1に掲げる①～⑪)

(3) 水質調査項目

表1に掲げる一般項目等、健康項目及び特殊項目に掲げる13項目

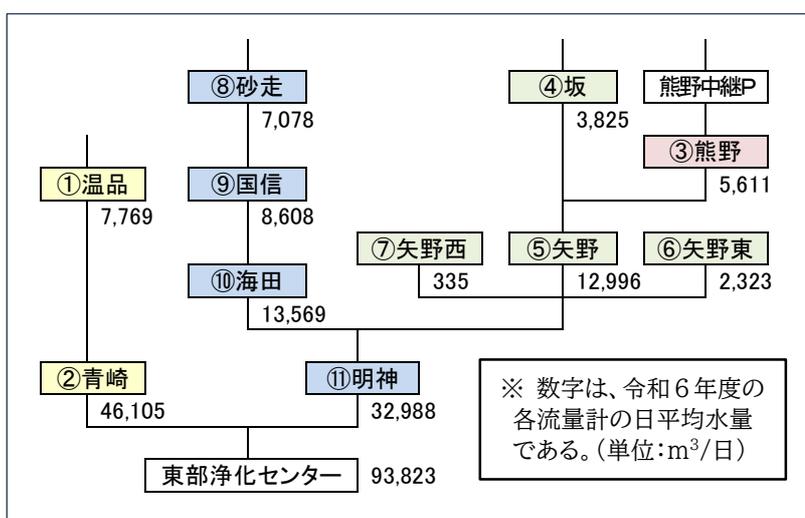


図1 流量計設置箇所

3 調査結果

幹線別水質調査結果及び調査時期の東部浄化センターへの流入水質(最大値)を表1に示す。

幹線別水質調査結果について、一般項目等の水素イオン濃度(pH)及び浮遊物質量は、下水道排除基準値内であったが、⑦矢野西のpHは、アルカリ性に偏っていた。硫化物イオン及び塩化物イオンは、下水道排除基準値はないものの、④坂及び⑤矢野では他の調査箇所と比較して高い数値が検出された。

健康項目は、すべての調査箇所ですべての項目も検出されなかった。

特殊項目は、亜鉛は0.05~0.14mg/L、銅は0.02~0.10mg/Lと全ての調査箇所でも検出されたが、いずれも下水道排除基準値内であった。全クロムは全ての調査箇所でも検出されなかった。

4 幹線の傾向と考察

④坂及び⑤矢野では、例年、他の調査箇所と比較して塩化物イオンと硫酸イオンが高い数値で検出されている。いずれの項目も海水に含まれる物質であり、④坂は沿岸部にあることから、海水が混入していると思われる。⑤矢野は、④坂の下流に位置するため、その影響を受けていると考えられる。

⑦矢野西のpHは、平成26年度から8.0以上のアルカリ性を示すことが多くなっている。その頃から継続してアルカリ性の洗浄剤やコンクリートの排水等が流入している可能性があるが、

流入水量が少ないため、当センターへの影響は確認されていない。

③熊野の銅は、他の調査箇所が 0.02 あるいは 0.03mg/L であることと比較して、0.10mg/L と高濃度で検出されている。銅は、生活系の排水に含まれるため、一定量が検出されることはあるが、③熊野は、調査開始当初より、高濃度（0.10mg/L 以上）の銅が検出されることが多く、事業系の排出源があると思われる。

表 1 令和 7 年度幹線別水質調査結果

	安芸		熊野	坂				瀬野川				下水道 排除基準	流入水質 (最大値)	
	①温品	②青崎	③熊野	④坂	⑤矢野	⑥矢野東	⑦矢野西	⑧砂走	⑨国信	⑩海田	⑪明神			
採水月日	5/14 12/10	5/15 12/11	5/16 12/12	5/16 12/12	5/12 12/8	5/12 12/8	5/12 12/8	5/13 12/9	5/15 12/11	5/14 12/10	5/13 12/9	—	5月 12月	
採水時刻	14:50 15:30	14:50 15:00	14:20 13:30	10:20 11:00	14:20 14:20	14:30 14:25	14:40 14:30	10:40 10:30	11:10 10:30	11:00 10:50	15:50 15:30	—	—	
一般項目等	水素イオン濃度	7.3 7.4	7.2 7.4	7.0 7.2	7.3 7.6	7.2 7.3	7.5 7.4	8.0 7.7	7.1 7.2	7.0 7.3	7.1 7.3	7.1 7.4	5~9	7.5 7.4
	浮遊物質質量	140 150	120 120	190 130	150 150	100 150	170 190	69 140	200 170	190 220	240 200	150 130	600*1	140 140
	化学的酸素要求量	100 110	95 120	150 100	110 110	110 110	110 140	130 180	150 130	140 160	150 150	130 110	—	110 110
	硫酸イオン	15 17	36 53	19 17	97 110	39 110	15 17	21 16	21 16	16 16	15 20	25 44	—	—
	塩化物イオン	36 34	160 310	68 51	700 760	230 690	42 41	61 62	41 40	41 41	38 44	140 180	—	160 280
	総水銀	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	ND ND	ND ND	ND ND	0.1	ND ND	
ひ素	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	0.1	ND ND	
特殊項目	亜鉛	0.06 0.05	0.06 0.06	0.08 0.10	0.08 0.07	0.07 0.08	0.08 0.06	0.08 0.06	0.08 0.07	0.09 0.08	0.09 0.07	0.14 0.09	2*2	0.08 0.15
	銅	0.02 0.02	0.02 0.02	0.03 0.10	0.02 0.03	0.02 0.03	0.02 0.02	0.02 0.02	0.02 0.02	0.03 0.03	0.02 0.03	0.03 0.03	3*2	0.02 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、シアン・カドミウム使用、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)

5 おわりに

今年度の調査では、下水道排除基準を超える下水の流入は認められなかった。

浄化センターに流入する金属類の多くは、下水処理の過程で発生する汚泥に蓄積される。東部浄化センターで発生した汚泥は、セメント化及びコンポスト化により再資源化しており、流入する有害金属等の減量が望まれる。

今後も、浄化センターから発生する汚泥の管理及び幹線への異常水質排水や海水等不明水の侵入情報を得るため、モニタリングを継続することとしたい。

芦田川浄化センターにおける有機酸と下水処理の関係について

(公財) 広島県下水道公社 福山支所 水質課 ○有重 裕司
渡辺 毅
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+急速砂ろ過法」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7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、りん 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。

当所では、主に降雨時に放流水中のりんが増加するという課題があるが、降雨のどのような作用がりん処理を阻害するのかについては不明である。

今回、一般にりん処理を促進すると言われている流入下水中の有機酸に着目し、降雨時の流入下水中の有機酸濃度とりん処理との関係について調査を行ったので報告する。

なお、本研究では、流入水中の主要な有機酸である酢酸を対象とした。

2 調査方法

(1) 調査期間

令和7年4月～令和7年11月

(2) 調査項目

水温・雨量・放流量・酢酸濃度・りん酸濃度・全りん濃度

3 結果及び考察

(1) 水温及び降水量と酢酸濃度の関係

水温及び降水量と流入水中の酢酸濃度の関係を図1に示す。

水温が高い時に酢酸濃度が高い傾向があり、特に7月から9月にかけて、他の時期に比べて酢酸濃度が高かった。

酢酸の濃度が低下する箇所があるが、これは降雨があった後に多く発生していた。

また、降雨時には放流量が増加するが、放流量の増加に比べて酢酸濃度の減少はより顕著にみられた。

以上から、流入水中の酢酸濃度は水温の高い時に増加し、降雨には酢酸の流入を抑制する作用があると考えられる。

(2) 流入水中の酢酸及び全りん濃度と全りん除去率の関係

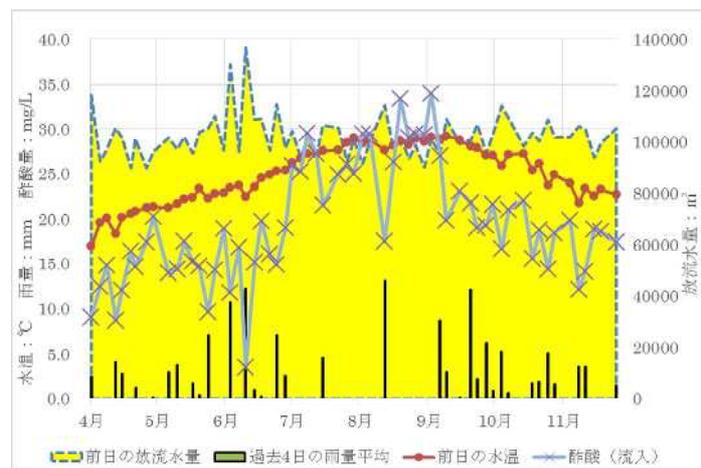


図1 水温及び降水量と酢酸濃度の関係

流入水中の酢酸濃度及び全りん濃度、全りん除去率の関係を図2に示す。

流入水全りん濃度は、2.3～4.0 mg/Lの範囲であり、季節による変動は見られなかったが、降雨時に減少していた。

また、全りん除去率は降雨時に低下した。

全りんの除去率に対する流入水中の酢酸濃度と全りん濃度の相関係数は、それぞれ以下のとおりである。

酢酸濃度（流入水）：0.47

全りん濃度（流入水）：0.55

上記の結果から、全りんの除去率について、流入水中の酢酸濃度は全りん濃度よりも弱い相関はあると考えられる。

(3) 酢酸濃度が全りんの除去に寄与する理由について

当浄化センターで実施している標準活性汚泥法において、全りんの除去は、反応槽のうち嫌気槽で微生物がりん酸を吐出し、好気槽で微生物がりんを摂取するという過程による。

よって、全りんの除去率に酢酸濃度が寄与する場合は、①嫌気槽でのりん酸の吐出しを促進する。②好気槽でのりんの摂取を促進する。のいずれかとなるが、下水処理工程中の酢酸濃度の推移を測定したところ、水温や降水量など一切の条件に関係なく、嫌気槽と好気槽の境界部において、酢酸は検出されなかった（採水箇所は図3を参照）。

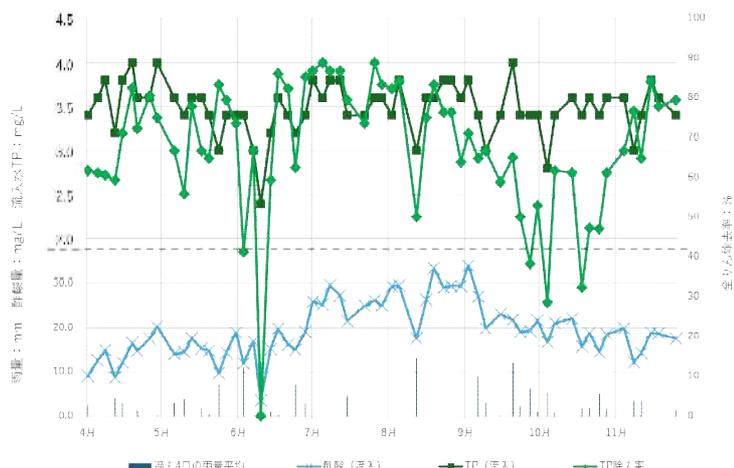


図2 流入水中の酢酸・りん酸濃度と全りん除去率

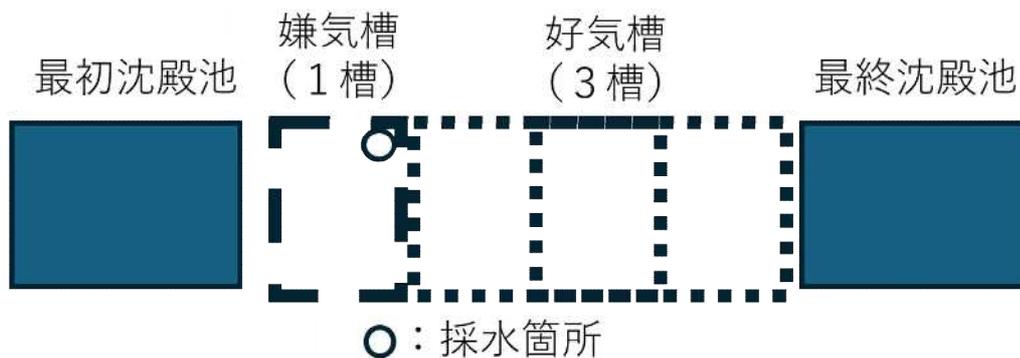


図3 採水箇所（反応槽）

このことから、酢酸は嫌気槽内ですべて消費されると考えられるため、酢酸を消費する嫌気槽内での反応に注目することとし、酢酸濃度と嫌気槽内のりん酸濃度の関係、及びそれが放流水中の全りん除去率に影響するかについて検討する。

図 4 に、流入水の酢酸濃度、嫌気槽のりん酸濃度及び放流水の全りん除去率について示す。

また、水温の影響を除外するため、流入水温が約 28℃ (27.7 ~ 28.3℃) と同程度の値であった日のデータを採用した。

図 4 から、流入水の酢酸濃度が増加すると、嫌気槽のりん酸濃度が増加し、放流水の全りんの除去率は上昇した。

それぞれの流入水の酢酸濃度との相関係数については、以下のとおりである。

嫌気槽りん酸濃度 : 0.96
放流水全りん除去率 : 0.95

すなわち、流入水の酢酸濃度と嫌気槽内のりん酸濃度及び放流水全りん除去率には強い相関関係がある。

このことから、流入水の酢酸濃度が増加すると嫌気槽内のりん酸濃度が増加し、放流水の全りん除去率が上昇すると考える。

4 まとめ

流入水中の酢酸濃度は水温や降雨量の影響を受けており、水温が高い場合は増加、降雨がある場合は減少することがわかった。

流入水中の酢酸濃度は、全りんの除去率に強い相関があり、相関がある理由は、酢酸濃度が増加することで嫌気槽でのりん酸の吐出しが促進されるためと考えられる。

ただし、4月から11月にかけての様々な水温の際のデータについて評価した場合、流入水中の酢酸濃度と放流水の全りん除去率の相関係数は大きく低下する結果となったため、水温の影響も大きいと考えられる。

今後は、特定の季節における傾向の変化や水温の影響について検討し、りん処理に影響する要因についてより詳しく調査することで、安定したりん除去に活用したい。

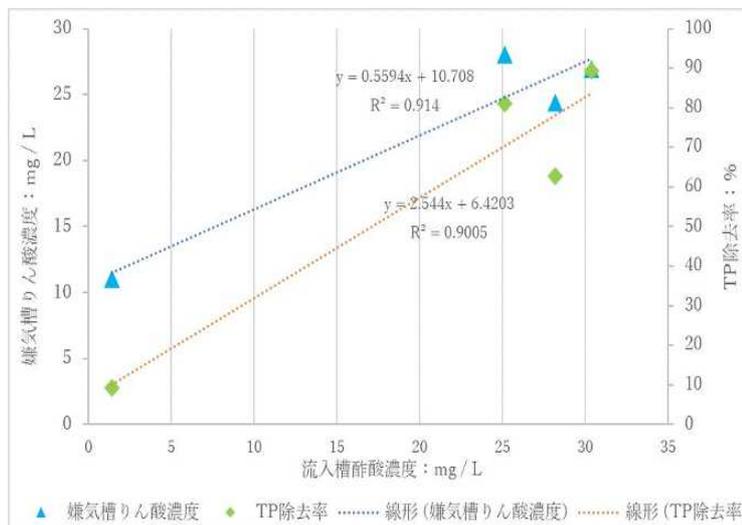


図 4 流入水酢酸・りん酸濃度・全りん除去率

COD 対策時のポリ硫酸第二鉄による凝集ろ過に係る調査

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。

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¹⁾（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、COD 急上昇時にろ過設備で、ポリ塩化アルミニウム（以下「PAC」）による凝集ろ過を行い、同ろ過設備の能力分、COD を除去し、放流水の濃度を低減、対応していた²⁾。

しかし、ろ過前の低 pH による凝集不良から、再生水用のストレーナーが閉塞した。よって、より低い pH での凝集が可能な、ポリ鉄への変更を目指し、現在使用リスクについて調査している。今回は、その中間報告をする。

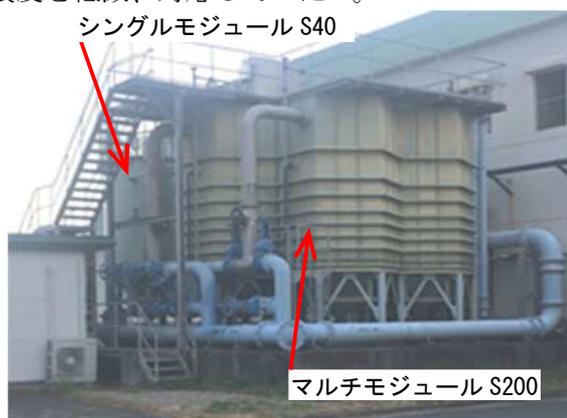


写真-1 移床式上向流連続砂ろ過装置

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）、りん酸態りんは JIS K 0102 46.1.3（イオンクロマトグラフ法）による。なお、COD は、株式会社 HIRANUMA 製 UCB-3000 を用いて滴定し、滴定量を計測した。

(2) pH の排水基準超過リスクの調査

ア ろ過設備でのポリ鉄による凝集ろ過

ろ過設備は、移床式上向流連続砂ろ過装置（三機工業株式会社製ダイナサンドフィルタ¹⁾）である。その外観を写真-1に示す。マルチモジュール S200：1基（ろ過面積 $5\text{ m}^2 \times 4$ 池 原水量 $167\text{ m}^3/\text{h}$ ろ過水量概ね $150\text{ m}^3/\text{h}$ ）とシングルモジュール S40：1基（ろ過面積 4 m^2 原水量 $40\text{ m}^3/\text{h}$ ろ過水量概ね $36\text{ m}^3/\text{h}$ ）で構成されている。なお、今回の調査にはマルチモジュール S200 を用いた。

そして、凝集ろ過のために、同 1 m^3 貯槽、注入ポンプ（共立機巧株式会社製 PRO-PON®FEEDER E-500-VTE-1-6）、面積式流量計を仮設し、送水ポンプ上流側の圧力計配管から凝集剤を注入した。仮設等の設置状況を写真-2、注入点の状況を写真-3に示す。なお、凝集剤は、日鉄鉱業株式会社製ポリ硫酸第二鉄「ポリテツ」を使用した。

イ 対策の実効性

ろ過設備において、まず、ろ過後の水の pH を計測し、ろ過前後の試料を採取した。pH の計測状況を写真-4に示す。ろ過前の試料は、ろ過設備の原水槽手前の最終沈殿

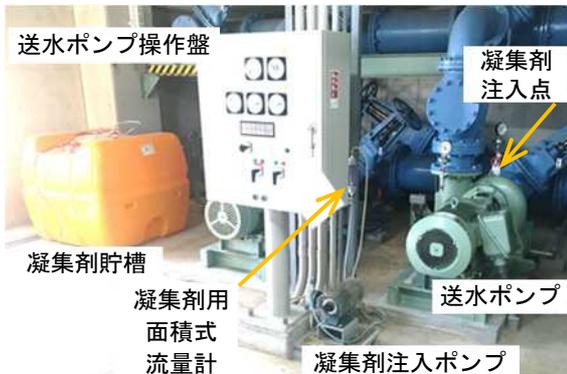


写真-2 仮設の凝集剤貯槽、注入ポンプ、面積式流量計等の設置状況

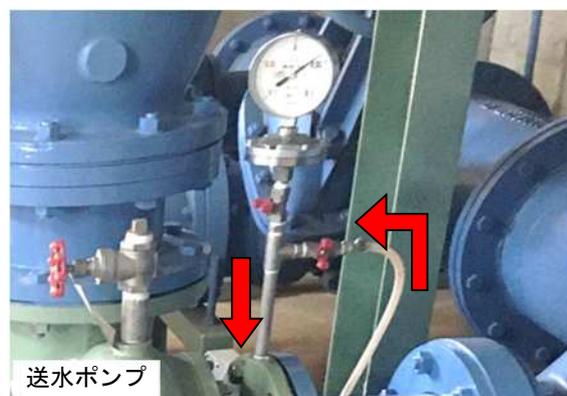


写真-3 送水ポンプ上流側圧力計配管周りの凝集剤注入点の状況（矢印は凝集剤注入方向）

池出口水である。ろ過後の試料は、写真-4の再生水配管から分岐のサンプリング用水栓からの水である。次に、凝集剤注入ポンプを運転、注入ポンプのダイヤルを設定し、2時間以上後にろ過前後の試料を採取した。これは、注入を開始して2時間後にろ過後の水質が安定すること²⁾を踏まえたものである。そして、pH5.8を下回るまで、注入ポンプのダイヤルの設定を段階的に変えながら、ろ過後のpHを計測し、ろ過前後の水を採取し続けた。そして、運転前・各ダイヤル設定時に採取した水のCOD・りん酸態りんを水質試験した。

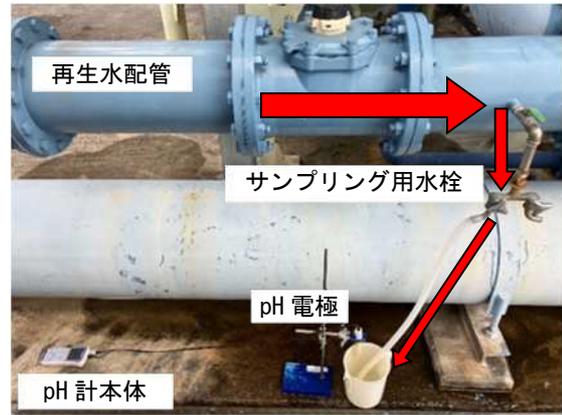


写真-4 凝集剤注入時の pH の計測状況 (矢印はろ過後の水の流下方向)

(3) 中性化による最初沈殿池での沈降性悪化リスクの調査

ア 配合比の異なる4種類の凝集物添加試料の作成

沼田川浄化センターの最終沈殿池出口水をろ紙 5A でろ過した試料 2000mL に、ポリ鉄：120mL(薬品)/m³(水)の割合で加え攪拌し、フロック形成を確認後、静置した。次に、上澄みを分取し、上澄みを含む凝集物を40mL 作成した。そして、これを3回繰り返し、上澄みを含む凝集物 120mL を作成、分取した上澄みと組み合わせ、4種類の凝集物添加試料 60mL を作成した。その外観を写真-5に、その配合と COD を表-1 に示す。なお、上澄みを含む凝集物 120mL における凝集物自体の COD は、次式により算出した。



写真-5 4種類の凝集物添加試料の外観

表-1 4種類の凝集物添加試料の配合と COD

試料名		ブランク	①	②	③
配合	上澄みを含む凝集物 (mL)	0	20	40	60
	分取した上澄み (mL)	60	40	20	0
COD	凝集物 (mg)	0	7.84	15.68	23.52
	上澄み (mg)	0.37	0.37	0.37	0.37

$$\begin{aligned} \text{凝集物自体の COD (mg)} &= \text{凝集沈殿前の COD (mg)} - \text{沈殿後分取した上澄み COD (mg)} \\ &= 14.01 \text{ (mg/L)} \times 6 \text{ (L)} - 6.17 \text{ (mg/L)} \times 6 \text{ (L)} \\ &= 47.04 \text{ (mg)} \end{aligned}$$

これは、沈殿後分取した上澄みと、凝集沈殿前の試料（最終沈殿池出口水を 5A ろ紙でろ過した試料）について、COD を試験し、それぞれ 6.17mg/L、14.01mg/L であったことから、凝集物自体の体積は加味せず求めたものである。

イ リスクの確認

配合比の異なる4種類の凝集物添加試料と流入水をそれぞれ混合した後、最初沈殿池の滞留時間等を踏まえ攪拌・静置することで、最初沈殿池での処理を室内実験で再現し、上澄みを採取して外観・着色の有無を確認した。

具体的には、作成した凝集物を含む添加試料 4 種それぞれ 60mL を 500mL ビーカーに入れ、流入水 340mL に加え、マグネットスターラーにより可能な限り高速で2分間攪拌した。そして、500mL メスシリンダーに移して2時間静置した（静置の間 pH を試験）。その後、上澄みを採取し外観を確認した。なお、上澄み 300mL は次の対策の必要性に供した。

ウ 対策の必要性

最初沈殿池の処理を再現してリスクを確認した試料に、反応タンク汚泥をそれぞれ混合した。そして、HRT が概ね 12 時間で A000 法で処理していることを踏まえ攪拌・曝気することで、反応タンクの処理を室内実験で再現し、静置後採取した上澄みの外観・着色の有無と COD を確認・比較した。

(7) 攪拌

前述のリスクを確認した上澄み 300mL と反応タンク汚泥 200mL をそれぞれ混合、マグネットスターラー（アズワン株式会社製 PS-1A）で攪拌した。攪拌強度は、空気を嘔む

ことなく汚泥が沈降せずスターラーが止まらぬ速さで、可能な限りゆっくりにした。そして、各試料の調節用ダイヤルの位置を揃えた。攪拌時間は、嫌気槽の滞留時間を踏まえ3時間とした。攪拌時の状況を写真-6に示す。



写真-6 攪拌時の状況 (左からブランク、①、②、③)

なお、反応タンク汚泥は、3池反応タンク最終槽の水を2L採取し静置後、上澄み1200mLを除いたものである。

(イ) 曝気

次に1000mLメスシリンダーに移し、エアディフューザー(酷易科技有限公司(中国)製 Air stone BJ-50)を用いてエアポンプ(ジェックス株式会社製 イーエアー1000SB)で曝気した。曝気強度は、それぞれの試料に対し同じ機器を使用することで揃えた。なお、個別での調整はできなかった。曝気時間は、好気槽の滞留時間を踏まえ9時間とした。チューブで繋いだエアディフューザーとエアポンプを写真-7、曝気時の状況を写真-8に示す。

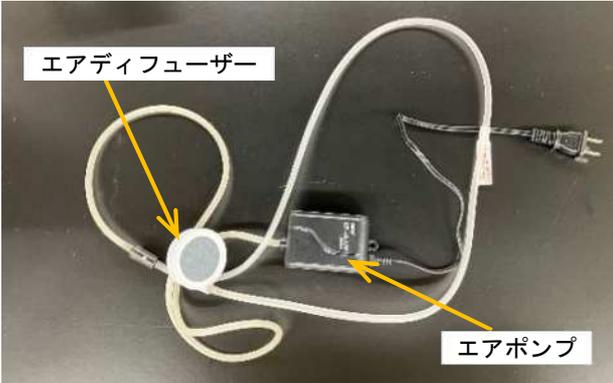


写真-7 チューブで繋いだエアディフューザーとエアポンプ (1試料分)

(ウ) 外観・CODの比較

曝気後静置し、上澄み300mLをピペットで採取、外観を比較した。

さらに、CODでも比較するために、凝集物の分散により増加したCODを算出した。そのためにCODを試験し、ブランクとの差から求めた。なお、CODの試験は、採取した上澄みを5Aろ紙でろ過してから行った。凝集物の分散により増加したCODは、凝集物の捕捉物で、5Aろ紙を通過する物質である。これは、アで述べたが、最終沈殿池出口水を5Aろ紙でろ過した試料から、凝集物添加試料を作成したことによる。



写真-8 曝気時の状況 (右からブランク、①、②、③ 矢印は送気方向)

3 結果と考察

(1) PACによる凝集ろ過時の不具合

2024年2月28~29日PACによるCOD低減対応時に、再利用水系統のストレーナーが閉塞する事象が発生した。また、再生水に目視で分かる程度の凝集物が認められた。そこで、ろ過前である各反応タンク最終槽のpHの推移を調べた。それを図-1に示す。結果、2024年2月28~29日は、実証実験

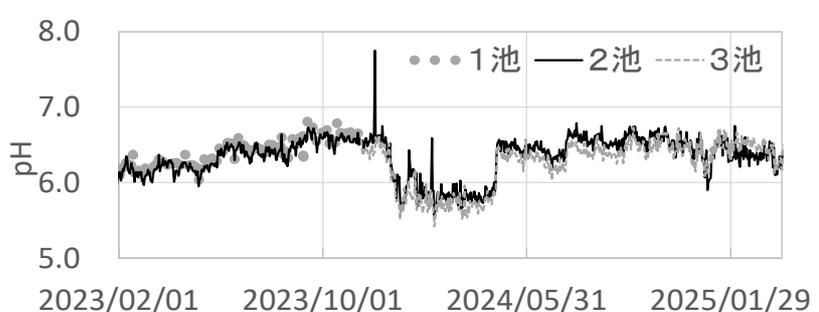


図-1 各反応タンク最終槽のpHの推移

実施期間(2023年2月27日~12月25日)よりpHが低く、PACの有効pH域(6~7.5³⁾)を逸脱していることが判明した。よって、ろ過前の水のpHが低いことによる凝集不良が原因と推

定された。

一方、ポリ鉄の有効 pH 域は 5~11³⁾ である。また、室内実験で、ポリ鉄は PAC より低い pH で凝集することが判明している²⁾。よって、PAC からポリ鉄への変更を目指すことにした。

(2) ポリ鉄の使用リスク

ポリ鉄の使用リスクについては、前回の報告²⁾で次のとおり指摘・考察している。

ア pH の排水基準超過リスク

室内実験から、ポリ鉄の最適 pH が概ね 5 であり、過注入時にはさらに pH が下がることが判明している。よって、凝集ろ過にポリ鉄を使用すると pH の排水基準超過のリスクがある。

イ 中性化に伴う凝集物の分散によるリスクの考察

ポリ鉄の凝集物は、pH7 に近づくと不安定になり凝集状態を維持できず分散することが判明している。よって、次のリスクが想定される。

(7) 最初沈殿池での沈降性悪化リスク

ろ過池洗浄水はろ過設備から常時排出されており、通常の処理系統の上流に送られ、流入水と混ざる。そして、最初沈殿池で、ろ過池洗浄水のろ過捕捉物が沈降、汚泥処理に送られる設計になっている。よって、凝集ろ過中、ろ過池洗浄水は流入水と混合後 pH7 に近づくため、ろ過捕捉物のポリ鉄の凝集物が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が想定される。

(4) ろ過水のろ過捕捉物漏出リスク

ポリ鉄による凝集ろ過停止後は、最終沈殿池出口水が pH7 に近いほど、ろ過設備内も pH7 に近づく。すると、ろ過設備内に残るポリ鉄の凝集物が不安定になり分散し、ろ過水に漏出することが想定される。

(3) pH の排水基準超過リスクの調査

ア リスクの確認

室内実験から、ポリ鉄の凝集ろ過による最適 pH が概ね 5 であり、過注入になればさらに pH が下がることが判明している²⁾。よって、リスクは確認されている。

イ 対策の実効性

再生水の pH を概ね 5.8 以上に制御できれば、放流水で pH の排水基準超過が発生するおそれはない。しかし、ろ過設備での COD 等の低減効果を確認していない。よって、予防対策として、ろ過後の pH を概ね 5.8 以上になるように注入量を制限した場合における、ろ過設備での実効性を調査した。

ろ過設備でのポリ鉄による凝集ろ過時採取したろ過前後の外観を写真-9に示す。また、水質計測値を表-2に示す。結果、ろ過後 pH6.15 以下の試料において、着色・COD の顕著な低減効果が認められた。また、ポリ鉄を注入した全ての条件において、りん酸態りんの顕著な低減効果が認められた。よって、pH5.8 以上で COD・りん酸態りんを低減できたことから、実効性が認められた。そして、ろ過後の pH を概ね 5.8 以上になるように注入量を制限することで、pH の排水基準超過リスクは対処可能と判断した。

(4) 中性化による最初沈殿池での沈降性悪化リスクの調査

ア リスクの確認

実施設での確認は困難である。よって、室内実験で最初沈殿池での処理を再現し、上澄みの着色から凝集物の分散によるリスクを確認することにした。上澄みの外観を写真-10に示す。結果、凝集物を含む添加試料の上澄みは茶色がかっており、凝集物の分散が認められ、リスクが確認された。なお、上澄みの pH は全て概ね 7.4 であった。

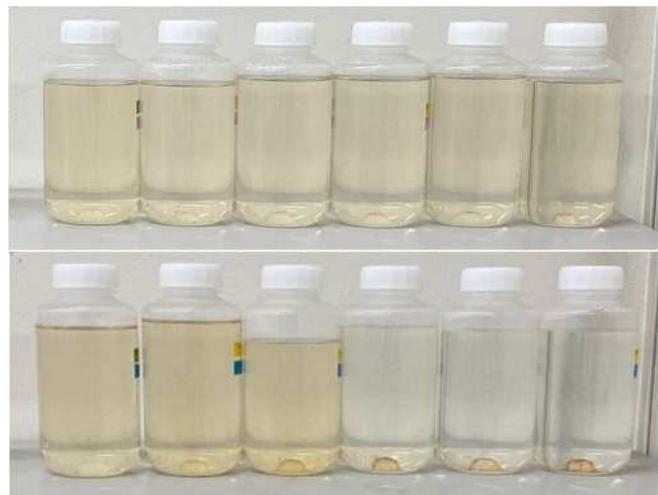


写真-9 採取したろ過前(上)・ろ過後(下)の試料の外観 (注入ポンプダイヤル等が左から、運転前、5、10、15、20、25)

表-2 ろ過設備でのポリ鉄による凝集ろ過時の水質計測値

注入ポンプダイヤル等	運転前	5	10	15	20	25
ろ過後 pH	6.78	6.60	6.33	6.15	5.91	5.65
ろ過前 COD(mg/L)	12.59	12.67	11.35	10.82	10.85	10.97
ろ過後 COD(mg/L)	12.37	10.96	7.09	5.96	5.30	5.06
ろ過前りん酸態りん(mg/L)	0.41	0.73	0.47	0.36	0.28	0.26
ろ過後りん酸態りん(mg/L)	0.50	0.21	0.05	0.05	0.05	0.05

ただし、反応タンクでの攪拌・曝気の後、最終沈殿池で活性汚泥とともに凝集物が沈降すれば、リスク対策は不要である。よって、さらに室内実験で反応タンク・最終沈殿池の処理を再現し、対策の必要性を調査することにした。

イ 対策の必要性

リスクの確認を行った上澄みを反応タンク汚泥と混合、反応タンクと同様に攪拌・曝気し、静置後、上澄みの外観を比較した。採取した上澄みの外観を写真-11 に示す。結果、外観に違いは認められず、分散した凝集物は反応タンク汚泥とともに沈降することが確認された。

また、COD でも比較・確認するため、上澄みろ液の COD を試験した。そして、凝集物の分散により増加した COD を、ブランクとの差から算出・解析した。

それらの結果を表-3 に示す。結果、上澄みろ液については、凝集物の多い添加試料のほど高い COD を示したが、大きな違いはなかった。そして、凝集物の分散により増加した COD については、どの試料も、凝集物が全て分散した場合に想定される増加 COD の 2.1~2.2% であり、著しく少なかった。

凝集物の分散により増加した COD は、最終沈殿池出口で増加する COD を意味する。また、凝集物が全て分散した場合に想定される増加 COD は、凝集ろ過処理により捕捉する COD に相当する。つまり、最初沈殿池で沈降しにくくなるリスクに伴い、最終沈殿池出口で増加する COD は、凝集ろ過処理により捕捉する COD より著しく少ないことになる。よって、リスクへの対策は不要と判断した。

4 まとめ

再生水ろ過設備において、PAC による凝集ろ過時に発生した凝集不良は、ろ過前の水の pH が低いことが原因と推定された。よって、低い pH で凝集できるポリ鉄へ変更することを念頭に、使用リスクを確認し、対策の実効性、必要性等を調査した。

まず、前回の報告²⁾で確認済みの pH の排水基準超過リスクについては、ろ過後の pH を概ね 5.8 以上にする注入量の制限対策について、実効性を確認でき、リスクは対処可能と判断した。

そして、ろ過池洗浄水中のポリ鉄の凝集物が最初沈殿池で沈降しにくくなるリスクについては、室内実験により確認された。しかし、分散した凝集物は反応タンクの活性汚泥とともに沈降することも分かった。そして、最終沈殿池出口で増加する COD は、凝集ろ過処理により捕捉する COD より著しく少ないことが判明した。よって、対策は不要と判断した。

今後は、凝集ろ過停止後にろ過捕捉物である凝集物がろ過水に漏出するリスクについて、ろ過施設で調べる予定である。

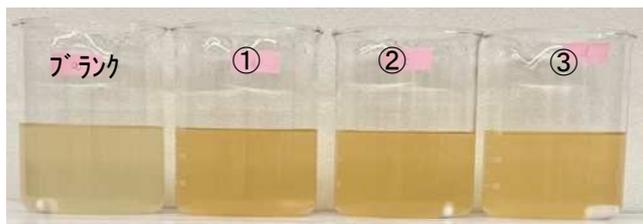


写真-10 凝集物と流入水を混合し、攪拌・静置後の上澄み(左からブランク、①、②、③)

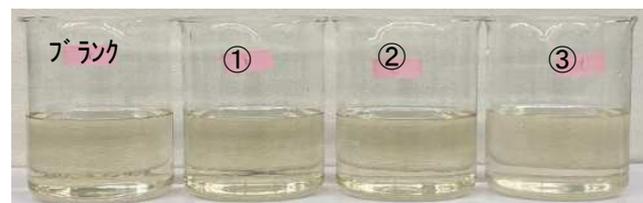


写真-11 さらに、反応タンク汚泥と混合、曝気、静置後の上澄みの状況(左からブランク、①、②、③)

表-3 凝集物の分散により増加した COD の算出・解析結果

	ブランク	①	②	③
上澄みろ液の COD (mg/L)	10.20	10.46	10.70	10.96
凝集物の分散により増加した COD (mg/L) ……㉞	0	0.26	0.50	0.76
凝集物が全て分散した場合に想定される増加 COD (mg/L) ……㉟	0	11.76	23.52	35.28
㉞/㉟ (%)	—	2.2	2.1	2.2

参考文献

- 1) 三機工業株式会社 HP：技術・サービス一覧 砂ろ過設備（ダイナサンドフィルタ）、<https://www.sanki.co.jp/service/technology/article/detail114.html> (2026年2月アクセス)
- 2) 杉野秀治ら：上向流移送式ろ過設備を用いた凝集ろ過による COD 等の低減効果、下水道協会誌、公益社団法人日本下水道協会、Vol. 61、No. 738、pp. 108~116 (2024)
- 3) 牛山保：凝集沈殿の基本と実際—凝集剤の特性と効果的活用方法—、紙パ技協誌、紙パルプ技術協会、Vol. 66、No. 12、pp. 29~35 (2012)

