

7.4 二段凝集

二段凝集は、簡易な設備と簡便な管理によってろ過水濁度の上昇を回避できる方法であるため、その効果や方法、留意事項を紹介する。

- (1) 高濁度原水への対応において期待される効果
- (2) 通常時において期待される効果
- (3) 実施方法（注入量、注入設備等）
- (4) ろ過抵抗への影響と改善策

【解説】

(1) 高濁度原水への対応において期待される効果について

- ✓ 高濁度原水への対応では、次のような場合に沈澱処理水やろ過水の濁度が上昇しやすい。
 - 原水濁度変動への凝集剤注入率の追従が遅れたことによる、凝集剤の注入不足
 - スラッジの過堆積等によるフロックの巻き上げ
 - 前アルカリ注入率の厳密な管理が難しく、最適な凝集pH値を逸脱することによるフロック形成の悪化

このような場合に予め二段凝集を行っておけば、ある程度の沈澱処理水濁度の上昇であれば、ろ過水濁度の上昇を回避できる（図 7-17 及び図 7-18 参照）。

- ✓ このように凝集沈澱悪化に対するバックアップ効果があるので、二段凝集の実施により、凝集沈澱管理における余裕度は大きくなる。

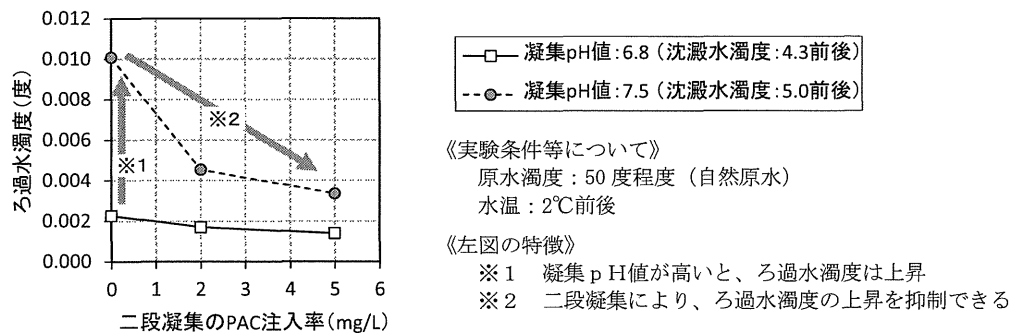


図 7-17 最適 pH 値逸脱時の二段凝集によるろ過水濁度の改善効果（プラント実験による結果）

設定 ケース	凝集剤注入不足に対する効果の検証 Case A : 凝集沈澱適正 (二段凝集なし) Case B : 注入不足 (二段凝集なし) Case C : 注入不足+二段凝集	沈澱不良に対する効果の検証 Case A : 凝集沈澱適正 (二段凝集なし) Case D : 沈澱不良 (二段凝集なし) Case E : 沈澱不良+二段凝集
設定 原水 濁度 (度)		
沈澱 処理水 濁度 (度)		
ろ過水 濁度 (度)		
結果の 特徴	※1 : 凝集剤の注入不足や沈澱不良により沈澱処理水濁度は上昇 ※2 : 注入不足によりフロックが十分に形成されず、ろ過池から濁度が漏洩 ※3 : 当初はろ過池でフロックを抑制するが、沈澱不良により抑制量が多いので早期にブレイクスルーが発生して、ろ過池から濁質が漏洩 ※4 : 二段凝集の実施により、ろ過水濁度はCaseAと同等あるいはそれよりも低下 (但し、ろ過閉塞が進みやすく、この小型実験装置では4~5時間でろ過終了)	
実験 条件等	《原水》粘土分 (カオリンとベントナイトを等量混合) と水道水による人工原水 《装置内滞留時間》フロック形成槽 : 7.6分 沈澱槽 : 11.3分 砂ろ過槽 : 4分 《二段凝集の方法》PAC 注入率 : 2mg/L 注入点 : 沈澱槽~ろ過塔の配管 (ラインミキサー)	

図 7-18 凝集沈澱の悪化に対する二段凝集のバックアップ効果 (プラント実験による結果)

(2) 通常時において期待される効果について

✓元々、二段凝集は、藻類等の微粒子漏出によるろ過水濁度の上昇に対して適用する技術であるため(図 7-19 参照)、高濁度原水の発生時だけでなく、日常的に実施してもよい。

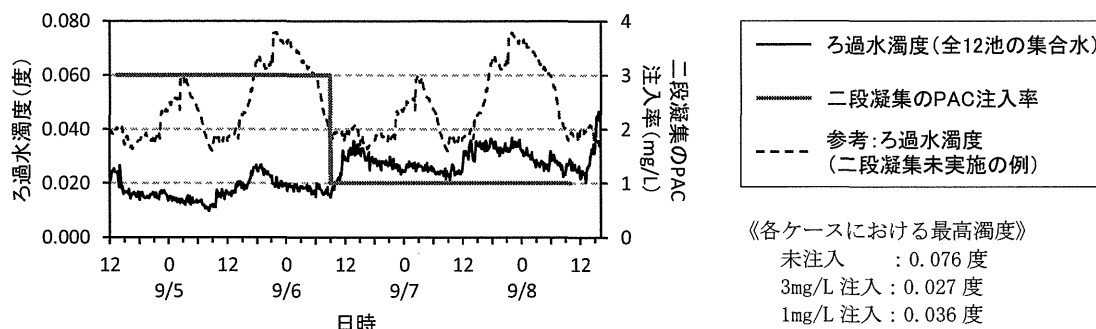


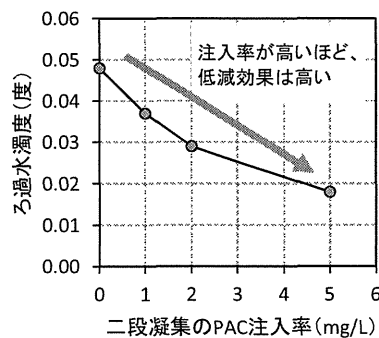
図 7-19 微小生物漏出によるろ過水濁度上昇に対する二段凝集効果(実施による結果) [14]

(3) 実施方法について

✓二段凝集の実施方法を整理すると、表 7-10 のとおりである。

表 7-10 二段凝集の実施方法

(ア) 注入量	0.5～2mg/L 程度の注入率となるよう、一定量を注入すればよい。 ※ 注入率が高いほど効果は高いが (図 7-20 参照)、ろ過継続時間を考慮する必要がある (第(4)項参照)。 ※ 注入率一定制御 (流量比例制御) は不要である。 ※ 間欠運転の浄水場では、取水停止時は二段凝集も停止する。
(イ) 注入点	沈澱処理水に対して注入する。 ※ できるだけ混ざりやすい地点を選ぶ必要はあるが、専用の混和設備はなくてもよい。 ※ 系列や池ごとへの凝集剤の分配が不要 (あるいは少ない) で、注入しやすい場所としては、沈澱池流出渠が一般的である (写真 7-2 参照)。 ※ 沈澱池とろ過池の間に粒状活性炭吸着設備等がある場合は、ろ過池流入水に注入する。
(ウ) 注入設備	小型の注入機とタンクや簡易な注入配管 (ブレードホース等) で十分である (写真 7-3 参照)



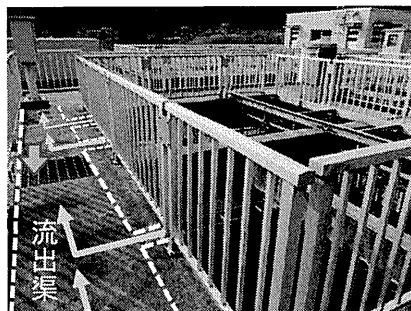
《実験条件等について》

原水濁度 : 100 度程度 (自然原水)

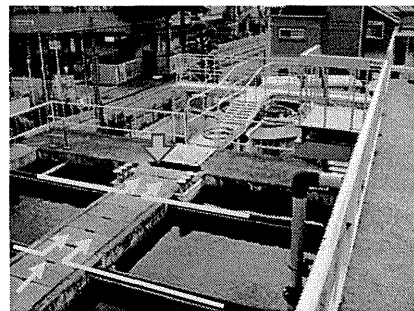
沈澱処理水濁度 : 0.5 度前後

図 7-20 二段凝集の PAC 注入率とろ過水濁度の関係 (プラント実験による結果)

(例 1)



(例 2)



(注) いずれの例も、実際には二段凝集を実施していない

写真 7-2 二段凝集の注入点 (↓) の例

(事例1：施設能力 22,800m³/日)

(事例2：施設能力 64,400m³/日)

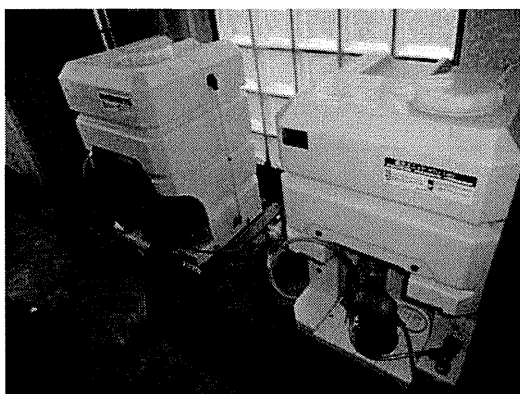


写真 7-3 二段凝集の PAC 注入設備の実例

(4) ろ過抵抗への影響と改善策について

- ✓ 二段凝集の凝集剤注入率が高いほど、ろ過池において損失水頭の上昇が速くなるので(図 7-21 及び図 7-22 参照)、場合によっては、ろ過池の洗浄間隔を短くする必要が生じる。
- ✓ ろ過閉塞を抑える方法としては、ろ過砂の上に 5cm 程度のアンストラサイトを敷く二層ろ過の実施がある。ただし、ろ過池洗浄の際にアンストラサイトが流出しやすい(特に、表面洗浄と逆流洗浄が重複する工程において)ので、定期的な点検と補充を行う。

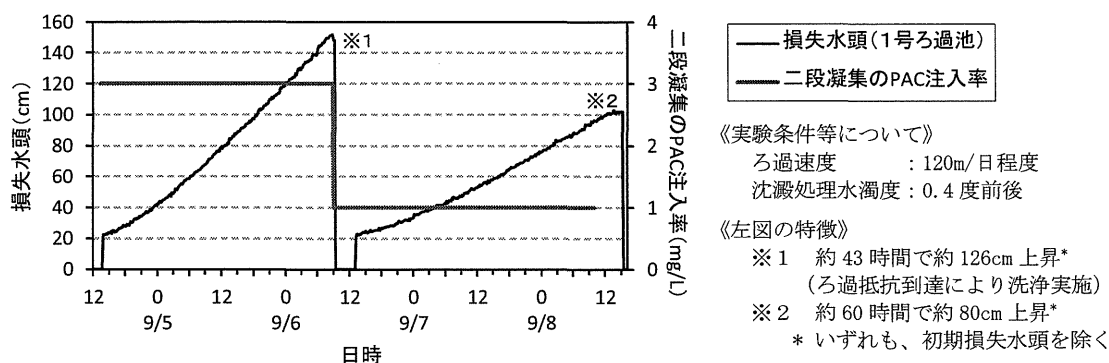


図 7-21 二段凝集実施時の損失水頭の推移 (実施設による結果) [14]

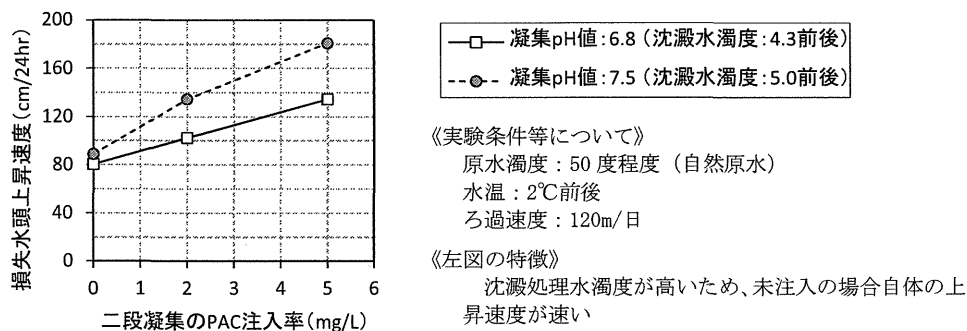


図 7-22 二段凝集の PAC 注入率と損失水頭上昇速度の関係 (プラント実験による結果)

II 資料編

資料 1 : 用語の解説	69
資料 2 : 中小事業者における浄水処理の実態調査結果	75
資料 3 : チェックシート (維持管理の現状評価)	89
資料 4 : 現有施設の諸元整理様式例	85
資料 5 : 水道システムのフロー図作成例 (取水施設～配水施設)	88
資料 6 : 水源河川のフロー図作成例	89
資料 7 : 高濁度原水の事例整理及び分析方法の一例	91
資料 8 : 水質汚染事故発生時の対応フローの一例	97
資料 9 : 作業分担表の一例	106
資料 10 : 指揮系統図の一例	108
資料 11 : 凝集剤 (PAC) 注入率早見表	109
資料 12 : 前アルカリ (苛性ソーダ、ソーダ灰) 注入率早見表	110
資料 13 : 排泥管理の事例	114
資料 14 : 配水可能時間早見表の一例	116
資料 15 : 水質基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改正等 並びに水道水質管理における留意事項について (抜粋)	117
資料 16 : 厚生労働省あるいは各都道府県の水道行政担当部局への連絡・報告について	119
資料 17 : 水質基準に関する省令	123
資料 18 : 水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針 (抜粋)	125
資料 19 : 近年の水質汚染事故の概況	127
資料 20 : 関連する指針、マニュアル、参考図書等の紹介	128

【資料 1】用語の解説 [9]、[10]、[15]、[16]

あ	アルカリ度	<p>水中に含まれている炭酸水素塩、水酸化物及び炭酸塩などを中和するのに必要な酸の量に相当するアルカリ量を炭酸カルシウム (CaCO_3) の mg/L で表したもので、酸消費量ともいう。中和点の pH 値により P-アルカリ度 (フェノールフタレイン変色点 pH 値 8.3) と M-アルカリ度 (メチルレッド混合指示薬変色点 pH 値 4.8) に区別される。M-アルカリ度は総アルカリ度とも呼ばれる。</p> <p>浄水用薬品の注入による pH 値の変化を緩衝し、凝集に適切な pH 値を維持するためには、一般的にアルカリ度として 20mg/L 程度が必要とされる。ポリ塩化アルミニウム (PAC、10%) を 1mg/L 注入するとアルカリ度が 0.15mg/L 減少し、液体硫酸アルミニウム (硫酸ばんど、8%) を 1mg/L 注入するとアルカリ度は 0.24mg/L 減少する。</p> <p>これらの薬品及び液化塩素を大量に注入する場合は、アルカリ剤を加えてアルカリ度の減少分を補う。</p>
	アンストラサイト	<p>石炭のうち最も炭化度の進んだ無煙炭のこと。特に、多層ろ過において砂より軽い材として使用する。品質としては、ベトナムのホンゲイ産のものが良いとされるが、中国産、アメリカ産もある。</p>
	SS	→ 浮遊物質
	NTU	<p>主に米国で使われている濁度単位。濁度標準液にホルマジンを使用する。一定の濁度測定条件を満たした散乱光測定による濁度を NTU 濁度単位 (ネフェロメ濁度単位) として表記する。1NTU はカオリン標準液の濁度約 0.7 度に相当する。</p>
か	攪拌強度	<p>フロック形成における攪拌条件の指標。攪拌強度の表し方として、攪拌エネルギー量 ε_* のうちフロック形成に有効な攪拌エネルギー量 ε_0 や、G 値などがある。攪拌強度は小さ過ぎるとフロックの成長が遅くなるが、大き過ぎるとせん断力によりフロックを破壊してしまい、フロック形成を阻害するので、適正な範囲に保つことが必要である。</p>
	攪拌エネルギー	<p>フロック形成速度及びフロックの最大成長を決める要素として使用されるもので、単位体積中で単位時間内に消費されるエネルギー量 ε_* をいう。乱流域では、有効な攪拌エネルギー ε_0 は ε_* の 10~20% 程度ともいわれている。</p> <p>① 機械攪拌式フロック形成池の場合</p> $\varepsilon_* = p\eta / V$ <p>p : 駆動装置の軸動力、η : 減速機の効率、V : 混和池の容量</p> <p>② 迂流式フロック形成池の場合</p> $\varepsilon_* = \rho ghf / T$ <p>ρ : 水の密度、hf : 迂流式水路の総損失水頭、 T : フロック形成池の滞留時間、g : 重力加速度</p>
	キャリーオーバー	沈澱池においてフロックが浮上流出する現象。
	超高塩基度 PAC	<p>PAC の主成分は次の一般式で表される。</p> $[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$ <p>ただし、$1 \leq n \leq 5$、$m \leq 10$</p> <p>ここで、塩基度は $n/6 \times 100\%$ で表され、日本水道協会規格では 45~65% であることとされている。この塩基度の違いにより、PAC は次の 3 種類に分類できる。</p> <p>塩基度 50% 程度：最も広く使用されている 塩基度 60% 程度：寒冷地を中心に使用されている 塩基度 70% 程度：近年開発されたもので、まだ実績は多くないが、残留アルミニウム濃度の低減が期待できる</p>

	<p>一般的には塩基度 70%程度の PAC を“高塩基度 PAC”と称することが多いが、従前から使用されている塩基度 60%程度の PAC と区別するため、ここでは塩基度 70%程度の PAC を“超高塩基度 PAC”と称することとした。</p>
高速凝集沈澱池	<p>フロック形成を既成フロックの存在下で行うことにより、凝集沈澱の効率を向上させた沈澱池で、次の 3 種類に大別される。</p> <p>①スラリー循環型 既成フロックを池内に循環させて、その中で流入水の凝集とフロックの成長を行わせる</p> <p>②スラッジ・ブランケット形 上昇流によって浮遊状態にあるスラリーの下方から凝集水を上昇させ、フロックの成長を行わせる</p> <p>③複合型 最初の凝集をスラリー循環方式で行い、スラッジ・ブランケットの下端からスラリーを噴出上昇させる</p>
固形物負荷	<p>主として排水処理（スラッジ処理）に用いられる設計基礎概念。排水処理施設における単位あたりの固形物処理量、発生量をいう。例えば、濃縮槽では施設表面積に対して固形物負荷を $20\text{kg}/\text{m}^2/\text{日}$ 以下で設計するし、天日乾燥床や加圧脱水機の必要面積も固形物負荷の考え方をもとに設計される。</p>
コロイド	<p>$10^{-5}\sim 10^{-7}\text{cm}$ 程度の大きさの粒子をコロイドといい、コロイドが分散している溶液をコロイド溶液という。よく知られているものには牛乳（水溶液に乳脂肪が分散している）がある。</p>
色度	<p>水の色の程度。精製水 1L 中に色度標準液中の白金 1mg 及びコバルト 0.5mg を含むときの色相を 1 度とする。主に地質に由来するフミン質やフミン酸鉄による呈色と同じ色調の色について測定するものであり、そのため、トリハロメタン生成能として表されるトリハロメタン前駆物質の量や有機物（TOC）と相関性が認められる場合がある。</p> <p>沈澱処理水程度の濁度であっても、濁りのある水の色度を測定すると、その結果は濁りの影響を受けた値となる。このような色度を「見かけの色度」といい、ろ過操作によって濁りを除いて測定した値（溶解性あるいはコロイド状物質による色）を「真の色度」という。水道水質基準の適合は「見かけの色度」で判断するが、浄水操作に影響を及ぼさず色度の程度を把握する場合は「真の色度」を測定する。</p>
自然平衡形ろ過池	<p>流入水量と流出水量とが自然に平衡する方式のろ過池である。流出側の砂面より高い位置に堰などを設け、ろ過池自体の砂面上水深が徐々に高まることによって、ろ層の閉塞に伴う通水量の減少を防止し、一定のろ過流量を得る方法であり、流出側に流量調節器等は設けない。また、流入量の設定変更に際して、ろ過速度は急変することなく緩やかに変化することから、ろ過水水質保持に優れていると言える。</p>
G 値	<p>T. R. Camp が提唱したフロック形成における攪拌強度の指標。すなわち、フロックの成長速度及び最大成長径は単位体積、単位時間に投入される攪拌エネルギー ϵ_* の平方根により決まるとして、$G = \sqrt{\epsilon_* / \mu}$ (μ は水の粘性係数) を定義した。</p>
G T 値	<p>フロック形成における攪拌条件で、G 値で表される攪拌強度に、攪拌継続時間を加味した指標。T. R. Camp は、十分なフロック形成に</p>

必要な指標としてG値に攪拌継続時間T（秒）を乗じたGT値を提唱した。実績データからGT値が23,000～210,000の値をとることが良好なフロック形成の条件としている。

ジャーテスト

回転数を制御できる数連の回転翼をもったジャーテスター（下図参照）と呼ばれる試験装置を用い、凝集・沈澱に最適なpH値、薬品添加量を決定する試験。通常すべてのピーカーの凝集剤注入量を一定として、pH値を種々変化させて実験を行い、次に凝集剤注入率を変化させて同様に繰り返す定量注入・変pH値法が多く用いられる。その他の条件設定法として、定pH値・変注入量法もある。テストの手順としては、薬品を注入して急速攪拌（5～15分、約150rpm）、緩速攪拌（15～30分、約40rpm）、静置（15～30分）を行い、上澄液をサンプリングして残留濁度（色度）、pH値などを測定し評価する。ジャーテストの結果をまとめる場合には、凝集マップを用いるのが効果的である。

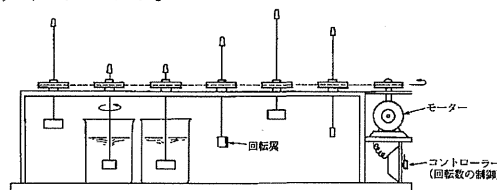


図 ジャーテスター

周辺速度

パドル式フロキュレータなどの攪拌機械の翼の最も外側の回転速度をいう。フロック形成においては、軸から最も遠いところ、すなわち最も速度の大きいところの値が、特に問題になる。あまり大きくなり過ぎるとせん断力により破壊を起こすなどフロックの成長阻害要因になるので、80cm/s以下に抑える必要がある。また、あまり遅いとフロックが沈澱するので15cm/s以上にする必要もある。

浚渫

水底の土砂または岩石を掘り上げる工事のこと。水道においては、貯水池の堆積土砂を除去し利水容量を確保するために浚渫を行う場合があり、浚渫等に合わせて堆砂対策を実施する事業は「水道水源開発施設改築事業」として国庫補助の対象となっている。

初期損失水頭

→ 損失水頭

代掻き

田植えのために、田に水を入れて土を砕いてかきならす作業。水田の漏水を防止し、田植を容易にする。また肥料と土をよく混合し、田面を平らにするとともに、雑草や害虫等の除去を助ける。

真の色度

→ 色度

吹送流

風の水面に対するせん断力によって生じる水の流れのこと。吹送流は水平方向の流れが代表的なものであるが、水面から下方に向かってその流速は減少する。吹送流には、下方向へらせん形にまわり込むものも考えられているが、実際には水平方向よりも弱く、より複雑に流れていることが観測されている。

スラッジ

水中の濁質が沈澱した泥状のもの。

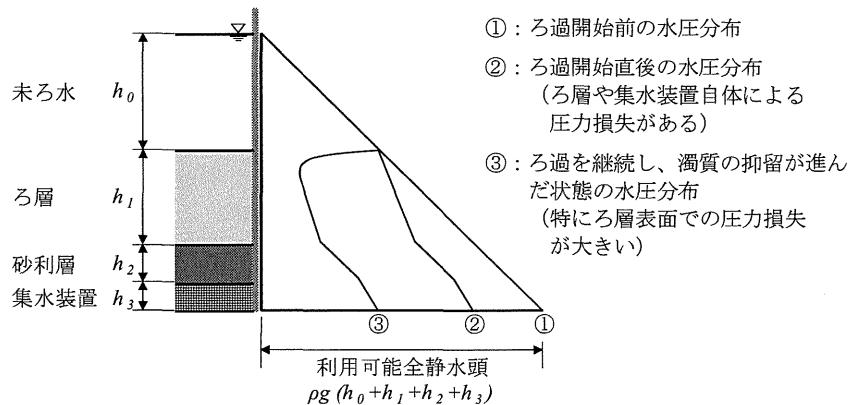
スラッジ・ブランケット ト形高速凝集沈澱池

→ 高速凝集沈澱池

スラリー

一般に、液体に固体粒子が浮遊状態になったものをスラリーという。例えば高速凝集沈澱池における凝集フロック群、粉末活性炭を送りやすいように水と混合した液状物などである。

- スラリーの活性 明確な定義はないが、大型フロックに成長しうるフロックを“活性がある”と称し、活性があるフロックで形成されるスラリーも同様に称される。攪拌強度が強すぎる、あるいは攪拌時間が長すぎると活性は低下する。
- スロースタート ろ過池洗浄後の運転再開時にろ過速度を漸増する方法。ろ過開始直後は一時的にろ過水濁度が上昇しやすいが、これを抑える効果がある。
- 堰負荷 沈澱池の取出し設備における、越流堰の単位長さあたりの越流量 ($\text{m}^3/(\text{日}\cdot\text{m})$) のこと。
- 洗浄スローダウン ろ過池の洗浄終了段階で、段階的に洗浄速度を減少する方法。ろ過開始直後は一時的にろ過水濁度が上昇しやすいが、これを抑える効果がある。
- 損失水頭 ろ過において、ろ層内や集水装置そのものによる通水抵抗や、ろ材間隙内への濁質の抑留に伴いろ材粒子間の水路が閉塞して通水抵抗が増すことによる圧力損失を静水頭で表したもの（下図参照）。



①から②や③にかけての圧力損失が損失水頭である（初期損失水頭=①-②）

図 ろ層内の水圧分布

管渠では、管内面の凸凹と流体との摩擦や、流入・流出及び、管断面の急拡・漸拡・急縮・漸縮、複数管の分岐・合流などにより失われるエネルギーを水頭で表したものを。

- た 短絡流 沈澱池において流入水と池内水との間の温度差、または濁度差、あるいは流入時の慣性力などによって生じる理論滞留時間より短い時間で沈澱池出口に到達する流れのこと。短絡流は池内の流れを乱したり、滞水域をつくり、有効容量の実質的な低下や表面負荷率の増大を招くため沈澱効率を減少させる。

沈降装置 沈澱効率を高めるために沈澱池内に設置する、傾斜板や傾斜管のこと。

濁度 水の濁りの程度。精製水 1L 中に標準混和ポリスチレン 1mg を含むときの濁りを 3 度（または 3mg/L）とする。原水濁度は浄水処理に大きな影響を与え、浄水管理上の最も重要な指標の一つである。
 「水質基準に関する省令の規定に基づき厚生労働大臣が定める方法（平成 15 年 7 月 22 日厚生労働省告示第 261 号）」の以前は、精製水 1L 中にカオリン（白陶土）1mg を含むときの濁りを 1 度（または 1mg/L）としていた。

な	二段凝集	通常の凝集沈澱に加えて、ろ過池流入水に凝集剤をごく少量注入して、微細な濁質分をろ過池で確実に除去する方法。
	二層ろ過	多層ろ過の一種で、2種類のろ材を用いたろ層でろ過する方法のこと。一般に上層にはアンスラサイト、下層には砂を用いる。通常採用されるろ過速度としては、単層ろ過で 120～150m/日に対し、二層ろ過では 200～360m/日である。
は	ハーディンジャー フィルター	自然平衡型ろ過池の一種であり、洗浄方法に特徴がある。ろ層及びろ層より下部を小区画に細分化し、洗浄は、ろ層の上を移動する低速の電動式走行台車に組み込まれた洗浄装置によって、小区画ごとに、ポンプでろ過中の他の区画の処理水を吸引して行う。
	pH値	水素イオンのモル濃度（水素イオン濃度）の逆数の常用対数値。ペーハーともいう。pH値 7 は中性、pH値 7 より値が小さくなるほど酸性が強くなり、値が大きくなるほどアルカリ性（塩基性）が強くなる。水の基本的な指標の一つであり、理化学的水質、生物学的水質、浄水処理効果、管路の腐食等に関する重要な因子である。測定法は比色法とガラス電極法（pH値計）がある。
	表面負荷率	沈澱池において単位面積あたりの処理水量のことで、水面積負荷ともいう。表面負荷率を v 、流入水量を Q 、池の表面積（または池の底面積）を A とすれば、 $v=Q / A$ の関係となる。速度の次元をもっているため、上昇速度ということもある。 薬品沈澱池における表面負荷率は単層式沈澱池で 15～30mm/min、多層式沈澱池で 15～25mm/min である。
	フミン酸	フミン質のうち、酸及びエチルアルコールに不溶で、アルカリ溶液に可溶な成分をフミン酸と呼んでいる。腐植酸ともいう。
	フミン質	土壌や泥炭などに含まれる動植物が微生物分解を受けて生成した分子量数百から数十万の天然有機物であり、腐植質ともいう。その成分は酸、アルカリ、アルコールに対する溶解度により、フミン酸、フルボ酸及びヒマトメラニン酸に分類される。また自然由来のトリハロメタン生成原因物質（前駆物質）として知られている。
	浮遊物質	水中に懸濁している粒径 $1\mu\text{m}$ ～2mm 程度の不溶解性物質のことをいう。SS とも記す。上水試験方法では、網目 2mm のふるいを通した一定量の試料を $1\mu\text{m}$ のメンブレンフィルターでろ過し、その残留物を 105～110℃で 2 時間乾燥し、秤量して求める重量法を定めている。濁度との間に、厳密な意味での相関関係はない。浄水処理、排水処理等に影響を及ぼす。
	不陸	急速ろ過池内の砂利やろ材の各層が何らかの理由により均一な層、層厚をしていない状態をいう。ろ層表面に極端に平面的な凹凸が見られることもある。不陸はろ層を洗浄する際の不均一な表面洗浄や逆流洗浄に起因することが多いが、その他にも池内の水流の関係で壁や池の隅の部分あるいはトラフ側面、固定式や回転式の表面洗浄パイプ付近に発生する。不陸はろ層厚の不足する場所ではろ過の効率を損ね、濁質がろ過水に表れるブレイクスルーを起こすことになる。自然に改善することはないので、根本的に原因を特定して改善を図る必要がある。
	ブレイクスルー	処理装置において、水中の不純物に対する許容捕捉量を越えた場合に処理水中に捕捉物質が流出する現象のこと。ろ過池の場合は、

ろ材の抑留能力が低いろ過初期やろ層内の許容捕捉量を超えたり、あるいは捕捉されていた粒子が剥離するときなどに濁質がろ過水中に漏出する現象で、濁質流出のこと。

- フロック
- 凝集剤の注入により、原水中の浮遊物質やコロイドは荷電が中和されて反発力を失い、ファンデルワールス力により互いに吸着し、マイクロフロックと呼ばれる粒子塊を生じる。さらに、凝集剤の水和によって生じた水酸化アルミニウムなどの鎖状の高分子が、マイクロフロックどうしを結合し、直径数 mm に及ぶ大きな粒子塊を生じる。水分を多量に含み、フワフワしていて綿毛に似ているのでフロックと呼ばれる。フロックは、濁質そのものに比べ飛躍的に沈降性が向上するので、沈澱の前処理としてフロック形成が行われる。
- ま 密度流
- 偏流の一種で、密度の異なる 2 種類の液相（例：塩水と淡水、冷水と温水、濁水と清澄水）が互いに境界を接して共存するとき起こる現象。横流式沈澱池において、急激な原水濁質の増加により、先行している低濁度の処理水が沈澱池内に滞在している間に、流入する密度が高い高濁度水が急速に沈潜し、効果的に沈澱処理されることなく流出側に出現する現象などがそれである。濁度差によるものを濁度密度流、温度差によるものを温度密度流という。
- 見かけの色度
- 色度
- や 有効容量
- 配水池などの総容量のうち実際に利用可能な容量をいい、具体的には高水位（HWL）と低水位（LWL）の間の容量をいう。
- ら ろ過抵抗
- ろ過操作全般にわたって発生する抵抗のことで、通常、ろ過前後の圧力差で示される。砂ろ過池においては、ろ層内の静水圧の低下が水頭で表される。
- ろ層膨張率
- 逆流洗浄時に、砂が流動化することによりろ層内の砂粒子間の空間が広がり、見かけ上ろ層体積が膨張したようになる。このとき、膨張していないろ層体積に対する膨張したろ層体積の割合を膨張率という。膨張したろ層厚を L 、膨張していないろ層厚を L_0 とおけば（ろ過面積を一定として）、膨張率は $(L-L_0)/L_0 \times 100$ （%）で表すことができる。

【資料 2】中小事業者における浄水処理の実態調査結果

(平成 23 年度総括研究報告書より抜粋)

1. 研究方法

施設能力（計画浄水量）10,000m³/日以下の浄水場（急速ろ過方式）を対象とし、水質面及び維持管理面の課題等を把握するため、施設概要・施設諸元・原水状況・薬品注入操作及び施設運転管理等についての選択方式（一部記述式）設問によるアンケート調査を行い、中小事業体の抱える課題とその要因及び対応を整理した。

また、より詳細な原水悪化への対応の実態を把握するため、ヒアリング調査を実施し、高濁度原水の発生状況や水質異常時の対応方法・規程・管理体制などを整理した。

2. 研究結果

(1) アンケート調査

水道統計（平成 20 年版）から調査対象条件に合致する 419 事業体を抽出して調査票を発送し、130 事業体（140 浄水場）から回答（回答率は 31%）を得た。

1) 中小事業者が抱える課題

課題を原水水質面と運転管理面に分け、課題の要因及び対応状況について表 1 及び以下のとおり整理した。

原水水質面の課題があると回答した浄水場数は 42、そのうち高濁度は 16、藻類は 6 であった。また運転管理面については 30 浄水場が凝集不良を課題と回答した。

課題間の関連は表 2 に示すとおりで、凝集不良は原水水質の高濁度・藻類・低水温と関連があり、特に高濁度とは顕著な関連が見られた。

また、浄水施設の経年化（使用年数が法定耐用年数を超過）については、表 3 のとおり、機械設備が 77 浄水場、電気計装設備が 92 浄水場と、いずれも半数以上で経年化が見られた。

運転マニュアル未整備は全体の 35%（45 事業体）を占めた。また、凝集不良を課題と回答した浄水場の運転マニュアル整備率は 77% であ

表 1 原水水質と運転管理上の課題

原水水質		浄水場数	運転管理		浄水場数
高濁度		16	凝集不良		30
藻類		6	ジャーテストとの不一致		3
油混入		3	薬品使用量		13
臭気		4	沈澱汚泥の性状		4
低水温		2	沈澱水濁度		8
低濁度		1	ろ過水水質		13
その他		10	その他		19
計		42	計		90

表 2 水質面と運転管理上の課題の関連

		運転管理上の課題							計
		凝集不良	ジャーテストとの不一致	薬品使用量	沈澱汚泥の性状	沈澱水濁度	ろ過水水質	その他	
原水水質の課題	高濁度	11	1	1	1	3	0	3	20
	藻類	4	0	2	0	2	0	1	9
	油混入	1	0	0	0	1	0	1	3
	臭気	0	0	0	0	0	1	2	3
	低水温	2	0	0	1	0	0	0	3
	低濁度	0	0	0	1	0	0	0	1
	その他	0	0	0	0	0	3	4	7
	計	18	1	3	3	6	4	11	46

数値は浄水場箇所数（重複回答を含む。）

表 3 経年化浄水施設の状況

種別	全体施設		経年化施設		経年化施設率	
	施設数	施設能力 (m ³ /日)	施設数	施設能力 (m ³ /日)	施設数 ベース	施設能力 ベース
土木・建築	140	607,875	0	0	0.0%	0.0%
機械設備			77	332,687	55.0%	54.7%
電気計装設備			92	416,353	65.7%	68.5%

り、凝集不良を課題としない浄水場のマニュアル整備率 62%を上回った。

2) 水質面の課題の要因

表流水（自流及びダム放流水の河川水）の水質面における課題を流域環境と水源種別に分類すると表4及び表5のとおりであり、山林を流域とする河川で、また、施設能力5,000以上10,000m³/日以下の浄水場で高濁度を課題としている場合が多い。

表4 原水水質の課題と流域環境との関連

種別	全体施設		経年化施設		経年化施設率	
	施設数	施設能力 (m ³ /日)	施設数	施設能力 (m ³ /日)	施設数 ベース	施設能力 ベース
土木・建築	140	607,875	0	0	0.0%	0.0%
機械設備			77	332,687	55.0%	54.7%
電気計装設備			92	416,353	65.7%	68.5%

(重複回答を含む。)

表5 高濁度を課題とする規模別浄水場数

水源種別	1,000 m ³ /日未満		1,000以上3,000 m ³ /日未満		3,000以上5,000 m ³ /日未満		5,000 m ³ /日以上		計
	実数	割合	実数	割合	実数	割合	実数	割合	
河川自流	3	2	1	6	12				
ダム放流水	0	0	1	2	3				
伏流水	0	0	0	1	1				
計	3	2	2	9	16				

3) 凝集不良を課題とする浄水場の特徴

凝集不良を課題とした浄水場とそれ以外の浄水場に分類し、施設内容・原水水質の課題・施設能力等の要因別に比較した。

その結果、凝集不良の浄水場では、以下の特徴が見られた。

- ア 沈砂池及びアルカリ注入設備の保有率が高い。
- イ 原水水質の課題は、高濁度、藻類及び低水温の順であった。
- ウ 施設能力が5,000m³/日以上浄水場の比率が高い。

4) 原水水質悪化への浄水場の対応

原水水質に課題があると回答した浄水場の取水操作での対応状況は表7のとおりであり、高濁度を課題とする浄水場数16のうち11が取水停止又は取水制限の対応を行ったと回答した。

(2) ヒアリング調査

高濁度の浄水処理への影響について実態の詳細を把握するため、ヒアリング調査を実施した。調査対象はアンケート調

表6 凝集不良の関連項目

関連項目	分類	凝集不良を運転上の課題とした浄水場 (30箇所)		左以外の浄水場 (110箇所)	
		実数	割合	実数	割合
		沈砂池	有り	12	40.0%
	無し	18	60.0%	88	80.0%
急速攪拌池	混和時間(分)	3.24		3.61	
急速攪拌池 混和方法	フラッシュミキサ	21	70.0%	62	56.4%
	ポンプ拡散	1	3.3%	1	0.9%
	水流(う流)	1	3.3%	3	2.7%
	その他	0	0.0%	1	0.9%
	不明	7	23.3%	43	39.1%
アルカリ剤 注入設備	有り	21	70.0%	36	32.7%
	無し	9	30.0%	74	67.3%
運転 マニュアル	有り	23	76.7%	62	62.0%
	無し	7	23.3%	38	38.0%
右記の原水 水質局面に おいて凝集 不良が課題	高濁度	11	36.7%	5	4.5%
	藻類	4	13.3%	2	1.8%
	油混入	1	3.3%	2	1.8%
	臭気	0	0.0%	4	3.6%
	低水温	2	6.7%	0	0.0%
	低濁度	0	0.0%	1	0.9%
	-(注)	12	40.0%	96	87.3%
施設能力	~1000m ³ /日	1	3.3%	18	16.4%
	~3000m ³ /日	7	23.3%	34	30.9%
	~5000m ³ /日	5	16.7%	26	23.6%
	5000m ³ /日~	17	56.7%	32	29.1%
施設経年化	土木・建築	0	0.0%	0	0.0%
	機械設備	20	66.7%	57	51.8%
	電気計装設備	21	70.0%	71	64.5%

注) 原水水質の課題としては凝集不良を回答しなかった浄水場

表7 原水水質悪化に対する浄水場の対応

課題	計	浄水場の対応				未回答
		取水停止	取水制限	通常取水	その他	
高濁度	16	7	4	2	0	3
藻類	6	0	0	3	1	2
油混入	3	3	0	0	0	0
臭気	4	1	0	2	1	0
低水温	2	0	0	2	0	0
低濁度	1	0	0	0	0	1
その他	10	1	0	4	2	3
計	42	13	6	18	6	9

査対象の浄水場のほか、鉄系凝集剤（PSI）を導入している浄水場、急速ろ過方式から膜ろ過方式へ変更した浄水場（計画中も含む。）及び大規模事業者の浄水場とした。調査内容は高濁度原水の発生状況や、水質異常時の対応方法・規程・管理体制などとした。

表 8 にヒアリング調査対象事業者を示す。

1) 高濁度原水の発生状況

集中豪雨等により濁度が 1,000 度を越えたのは、A～C の 4 事業者であった。このうち B 事業者では、集中豪雨が近年頻繁に発生しており、平成 19 年 6 月の豪雨では 10,000 度を越えた。A 事業者では、平成 22 年 8 月に水源貯水池法面が豪雨により崩壊して貯水池が泥水化し、濁水が浄水場へ流入した。C 事業者や D 事業者では、集中豪雨により原水濁度が急激に上昇する回数が近年増加傾向にある。

その他の事業者では、洪水調節や発電用水等のダム放流によって濁度が急激に上昇する例や、集中豪雨による濁水が水源ダムに流入し長期に亘り高濁度状態が続く例が見られた。

2) 浄水場の対応

a. 異常高濁度への対応

B 事業者では原水の急激な濁度上昇により取水停止が遅れ、高濁度水が浄水場へ流入し、復旧に数日を要した。対策として運用規程を見直す一方、滞水池（原水調整池）を設置して取水停止時の水源を確保している。

A 事業者は貯水池の泥水が浄水場に流入し、復旧に数日を要した。復旧後も濁度が浄水処理能力を超える状態が続き、応急的な高分子凝集剤の使用により長期に亘る高濁度水の処理に対応した。

C 事業者や D 事業者では取水管理規程や運用規程を整備し、取水停止や取水制限、取水再開を適切に行い給水への影響を回避し、G 事業者等は適切な凝集剤注入率や高塩基度 PAC による浄水処理で断水を回避している。

ダム貯留水の放流による影響を受けている E 事業者や H 事業者では、ダム管理側からの放流情報を事前入手し、浄水処理での対応を図っている。

b. 鉄系凝集剤の使用

鉄系凝集剤を使用している 2 事業者（浄水場）では凝集剤を PAC から PSI へ変更した。変更の理由は浄水汚泥の有効利用や浄水中の残留アルミニウム問題への対応などである。2 事業者とも PSI 導入後の運転期間が短く、現状では凝集剤の変更による浄水処理の改善効果は明確となっていない。

表 8 ヒアリング実施事業者

事業者	施設能力 ($\text{m}^3/\text{日}$)	着目点
北海道 A 事業者	1,716	断水（取水停止判断）
北海道 B 事業者	67,582	断水の長期化（取水停止判断）
北海道 C 事業者	7,920	高濁度原水（施設運用方法）
北海道 D 事業者	10,900	高濁度原水（施設運用方法）
北海道 E 事業者	5,960	浸漬膜による高濁度への対応
北海道 F 事業者	94,867	施設更新 （急速ろ過→膜ろ過への変更）
埼玉県 G 事業者	20,000	ダム放流による濁度上昇
静岡県 H 事業者	172,800	高濁度原水、沈澱池処理性に問題 （流出濁度）
長野県 I 事業者	12,400	PSI 利用
徳島県 J 事業者	99,000	PSI 利用
鹿児島県 K 事業者	110,000	高濁度原水、沈澱池処理性に問題 （流出濁度）
鹿児島県 L 事業者	7,700	凝集沈澱+前ろ過+緩速ろ過採用

c. 浄水方式の変更

急速ろ過方式から膜ろ過方式に変更したE事業体の原水水質は、上流のダム放流時や集中豪雨時に濁度が急上昇する他、降雨時には流域の牧場から堆肥等が流入し、大腸菌・アンモニア態窒素・有機物濃度が上昇するなど浄水処理対応が困難な性状である。このため運転管理は熟練技術者の豊富な経験を要したが、経験知が適切に継承できず運転管理が次第に困難となったため、施設更新に伴い運転管理面の簡素化に重点を置き、浄水方式をE事業体の原水性状と施設能力に適合したフローに変更した。

また、膜ろ過方式へ変更を予定しているF事業体では、変更理由をクリプトスポリジウム対策、運転管理の簡素化、膜施設の将来性、敷地面積の制約としており、施設・維持管理の両面の簡素化が大きな要素となっている。

【資料 3】チェックシート（維持管理の現状評価）

実施日	年 月 日	実施者
-----	-------	-----

分類	No.	チェック項目	チェック欄（現在の状況）	状況に応じた改善策	改善の意義
日常の現場管理	(1)	職員体制(委託含む)	<input type="checkbox"/> ①職員数が十分で、専門職(設備、水質)もいる <input type="checkbox"/> ②職員数あるいは専門職が不足している <input type="checkbox"/> ③無人である	②増員や専門職の配置 ③巡回の強化、常駐職員の配置	・管理体制の強化 ・技術継承
	(2)	水源流域や取水点の定期的パトロール	<input type="checkbox"/> ①実施している <input type="checkbox"/> ②実施していない	②定期的な実施	・流域環境の変化の把握 ・河川の堆砂や河道の状況の把握 ・関係機関との連携強化
	(3)	取水口や沈砂池の定期的清掃(土砂や夾雑物の除去)	<input type="checkbox"/> ①実施している <input type="checkbox"/> ②実施していない	②定期的な実施、オイルフェンスの常設(夾雑物の混入防止)	・安定取水 ・流入土砂の減量
	(4)	沈澱池の沈降装置の定期的清掃	<input type="checkbox"/> ①実施している <input type="checkbox"/> ②実施していない	②定期的な実施	・沈澱不良の回避
	(5)	凝集沈澱の定期的な目視確認(フロック形成・沈降、キャリーオーバー等)	<input type="checkbox"/> ①実施している <input type="checkbox"/> ②実施していない	②定期的な実施	・処理の良否や悪化の予兆の把握
	(6)	現場における定期的な薬品注入量の実測	<input type="checkbox"/> ①しており、計器指示値とほぼ同じである <input type="checkbox"/> ②しているが、計器指示値と異なる <input type="checkbox"/> ③していない	②注入量計の調整、薬注機の最大負荷試験の実施 ③実測の実施	・処理効果の確実な発現 (実際の薬品注入量が設定値と異なると、期待した効果が得られない)
	(7)	定期的なジャーテスト	<input type="checkbox"/> ①実施している <input type="checkbox"/> ②水質異常時のみ実施している <input type="checkbox"/> ③実施していない	②定期的な実施と結果の記録 ③同上	・凝集用薬品の適正注入率の把握 ・技術継承

分類	No.	チェック項目	チェック欄（現在の状況）	状況に応じた改善策	改善の意義
現場管理 日常の	(8)	定期的な水質計器の保守点検	<input type="checkbox"/> ①メーカー推奨の頻度・内容で実施している <input type="checkbox"/> ②メーカーの定期点検のみ実施している <input type="checkbox"/> ③実施していない	②定期的な実施と結果の記録 ③同上	・正確な原水水質や処理水質の把握（誤った情報をもとに処理条件を設定しても、期待した効果は得られないだけでなく、対応を誤ることになる）
運転状況、施設仕様・規模	(9)	凝集用薬品の注入順序	<input type="checkbox"/> ①pH調整剤を均一に混和した後に凝集剤を注入している <input type="checkbox"/> ②pH調整剤と凝集剤を同じ位置に注入している <input type="checkbox"/> ③前アルカリの注入設備がない	②凝集剤注入の前にpH調整剤を均一に混和できるよう変更 ③設備要否の再検討	・処理効果の確実な発現（凝集では、pH値やアルカリ度を適正条件に整えることが必要）
	(10)	凝集用薬品の注入点	<input type="checkbox"/> ①速やかに混和される、攪拌機直近や堰落部に滴下している <input type="checkbox"/> ②注入点や方法が①以外の状況である	②攪拌機直近や堰落部への滴下に変更	・混和効率の改善 ・薬品使用量の削減
	(11)	凝集用薬品の注入能力	<input type="checkbox"/> ①悪化時の原水水質に対して十分な能力の注入設備を有している <input type="checkbox"/> ②注入設備の能力不足が問題になったことがある	②注入設備の増強	・薬品注入設備の能力不足を原因とする処理悪化や取水制限の回避
	(12)	薬品混和池内の流動	<input type="checkbox"/> ①乱流と渦流が生じている <input type="checkbox"/> ②共回りや短絡流が生じている	②流動特性の改善（阻流壁の設置、阻流板の増設等）	・混和効率の改善 ・薬品使用量の削減
	(13)	沈澱池内の流れ	<input type="checkbox"/> ①おおむね均等に流れており、乱れがない <input type="checkbox"/> ②短絡流や密度流によるフロックのキャリーオーバーが著しい場合がある	②施設改良（阻流壁や整流壁の設置等）、運転強化（高濁度時の排泥強化）	・沈澱処理水濁度の改善
	(14)	横流式沈澱池の排泥（その1：排泥不良について）	<input type="checkbox"/> ①ほとんど発生しない <input type="checkbox"/> ②高濁度時には生じやすい <input type="checkbox"/> ③日常的に生じている	②排泥頻度の調整 ③施設改良	・沈澱処理水濁度の改善

分類	No.	チェック項目	チェック欄（現在の状況）	状況に応じた改善策	改善の意義
運転状況、施設仕様・規模	(15)	横流式沈澱池の排泥（その2：排泥操作に伴うキャリーオーバーについて）	<input type="checkbox"/> ①ほとんど発生しない <input type="checkbox"/> ②高濁度時には生じやすい <input type="checkbox"/> ③日常的に生じている	②排泥頻度の調整（過堆積の防止） ③掻寄速度等の操作方法の見直し	・沈澱処理水濁度の改善
	(16)	高速凝集沈澱池の排泥	<input type="checkbox"/> ①排泥不足 ^(注) はほとんど発生しない <input type="checkbox"/> ②高濁度時に排泥不足 ^(注) が生じやすい <input type="checkbox"/> ③日常的に排泥不足 ^(注) が生じている （注）スラリー濃度やスラリー界面の上昇といった状況を招く	②排泥頻度の調整、底部排泥の実施 ③同上	・沈澱処理水濁度の改善
	(17)	ろ過池1池あたりの洗浄間隔（ハーディングフィルターを除く）	<input type="checkbox"/> ①1.5～3日ごと <input type="checkbox"/> ②3日以上 <input type="checkbox"/> ③数時間～1日ごと	②1.5～3日ごとの実施 ③1.5～3日ごとの実施（ただし、ろ過抵抗やろ過水濁度に問題が生じるのであれば、ろ過砂管理の適正化や施設改良が必要）	・濁質の漏洩防止（②の場合） ・浄水ロスの抑制（③の場合）
	(18)	ろ過池の逆流洗浄強度（ハーディングフィルターを除く）	<input type="checkbox"/> ①ろ層膨張率が20～30%で、10分前後実施 <input type="checkbox"/> ②洗浄強度が①以外の状況である	②洗浄流速や洗浄時間の調整	・ろ層内への濁質の蓄積防止（洗浄不足の場合） ・浄水ロスの抑制（強度過剰の場合）
	(19)	ろ過砂の管理	<input type="checkbox"/> ①定期的に調査を行い、状況に応じて更生や補砂を実施している <input type="checkbox"/> ②調査や更生等を行っていない、あるいは、ろ層が著しく薄くなっていたことがある	②定期的な調査や更生、補砂等の実施	・処理効果（ろ過）の維持
	(20)	排水処理施設の処理能力	<input type="checkbox"/> ①含水率70%以下のケーキが得られており、機械脱水の場合は日頃は平日日中のみの運転となっている <input type="checkbox"/> ②容量や処理能力の不足により、ケーキ含水率が高くなる場合がある	②排水処理施設の増強	・排水処理施設の能力不足を原因とする処理悪化や取水制限の回避

分類	No.	チェック項目	チェック欄（現在の状況）	状況に応じた改善策	改善の意義
運転状況、施設仕様・規模	(21)	濁度計やpH計の整備状況	<input type="checkbox"/> ①原水と浄水だけでなく、沈澱処理水やろ過水も連続監視している <input type="checkbox"/> ②沈澱処理水やろ過水の連続監視は行っていない <input type="checkbox"/> ③未整備の地点・項目がある	②手分析(簡易測定)による補完、計器の整備 ③同上	・水質変化の早期把握
	(22)	濁度計の仕様と管理（特に原水濁度計）	<input type="checkbox"/> ①実際の変動範囲に見合った測定範囲を有する濁度計を整備し、レンジ切替の都度、校正を実施している <input type="checkbox"/> ②十分な測定範囲を有する濁度計は整備しているが、管理は不適切である（濃度に見合ったレンジ切替や切替都度の校正を実施していない） <input type="checkbox"/> ③実際の変動範囲に対して測定範囲が狭い（あるいは広い）	②適切な管理の実施 ③適正な測定範囲の濁度計の整備と適切な管理の実施	・正確な原水水質や処理水質の把握（誤った情報をもとに処理条件を設定しても、期待した効果は得られないだけでなく、対応を誤ることになる）
平常時の処理の良否	(23)	沈澱処理水濁度	<input type="checkbox"/> ①安定的に1度以下を達成している <input type="checkbox"/> ②日頃から1度を超えることが多い	②原因(No.(4), (9)~(15))の調査と改善	・濁度やアルミニウム管理の改善、強化 ・ろ過池への負荷の抑制
	(24)	ろ過水濁度	<input type="checkbox"/> ①安定的に0.1度以下を達成している <input type="checkbox"/> ②洗浄後の再開時に0.1度を超過する <input type="checkbox"/> ③洗浄後でなくても0.1度を超過することが多い	②洗浄スローダウンの実施、捨水の実施 ③沈澱処理水濁度の改善、ろ過砂の管理の実施	・クリプトスポリジウム対策の実施、強化
情報等の管理	(25)	河川や流域の特性	<input type="checkbox"/> ①各種情報(水位・雨量観測点、汚濁源、土地利用等)を収集・整理し、原水水質に及ぼす影響(リスク)を検討し把握している <input type="checkbox"/> ②各種情報は把握しているが、整理や検討は行っていない <input type="checkbox"/> ③各種情報の把握は不十分である	②情報整理とリスク検討の実施 ③情報の収集・整理とリスク検討の実施	・気象や水質変化の早期把握 ・特に留意すべき水質項目の把握 ・技術継承

分類	No.	チェック項目	チェック欄（現在の状況）	状況に応じた改善策	改善の意義
情報等の管理	(26)	原水・浄水や各浄水工程の水質	<input type="checkbox"/> ①各種データ(水質と運転状況)を記録し、季節変化や相互の関連を分析している <input type="checkbox"/> ②各種データは記録しているが、分析は行っていない <input type="checkbox"/> ③ほとんど記録がない	②データ分析の実施 ③記録とデータ分析の実施	・平常の変動範囲の把握 ・技術継承
	(27)	過去の高濁度原水時のデータ	<input type="checkbox"/> ①各種データ(雨量、河川流況、原水・処理水水質、対応状況等)を記録し、相互の関連を分析している <input type="checkbox"/> ②各種データは記録しているが、分析は行っていない <input type="checkbox"/> ③ほとんど記録がない	②データ分析の実施 ③記録とデータ分析の実施	・運転管理指標、基準の設定に向けた基礎情報の蓄積 ・技術継承
	(28)	施設等の修繕・更新	<input type="checkbox"/> ①履歴を管理し、予防保全の考え方にに基づき計画的に実施している <input type="checkbox"/> ②履歴は残しているが、修繕等は事後保全として実施している <input type="checkbox"/> ③履歴がほとんどない	②予防保全の実施 ③履歴の記録と予防保全の実施	・安定的な運転の実現 ・技術継承
水質異常時等の管理	(29)	水源水質に関する関係機関との連絡体制（流域の水道事業者や河川管理者、環境行政機関等）	<input type="checkbox"/> ①連絡体制が整備され、異常時には連絡がある等、実際に機能している。 <input type="checkbox"/> ②連絡体制はあるが、やや形骸化している。 <input type="checkbox"/> ③連絡体制はない。	②連絡体制の運用、連携目的・意義の再確認 ③連絡体制の整備と運用	・異常の早期把握 ・適切な初期対応の実施
	(30)	水質異常の把握から着水井到達までの時間	<input type="checkbox"/> ①関係機関との連絡体制や水質計器の整備等により、1～数時間前にはおおむね把握できる。 <input type="checkbox"/> ②着水井に到達するまでは把握できない。	②連絡体制の整備、連絡体制の運用方法の見直し、水質計器の整備	・異常の早期把握 ・適切な初期対応の実施