

水は、生物の生命維持に不可欠であると共に、人類が地球上で存続していくために必要な物質である。各種産業で用いられる「工業用水」*もまた、「工業装置」というシステムを維持・操業するために必要不可欠なものとなっている。

地球全体の環境を維持し、健全な水資源を次世代に継承するため、各種産業で使用した排水を適切に処理することは科学技術によって克服していくべき課題と考える。

本特集では、「工業用水の一生」と題して、工業用水の取水から各種産業で要求される前処理及び産業別の排水処理技術について紹介する。

生立ちとして日本とアジア圏における工業用水取水時の違いから、誕生・成育として各産業別に必要とされる水質にするための浄水技術、用水を使う上でのトラブル事例とその対策、最後に再生として産業別に特有な排水処理技術について紹介する。

※「工業用水」：日本の「工業用水道事業法」による定義では、工業（物品の加工修理業を含む製造業、電気供給業、ガス供給業及び熱供給業）の用に供する水で、水力発電用と飲用を除く水

（編集担当：黒木政勝）†

日本の工業用水の特徴

伊藤 博文

1. はじめに

工業用水道事業法では、工業用水道事業を工業（製造業、電気供給業、ガス供給業及び熱供給業）の用に供する水を一般の需要に応じて導管により供給する事業であり、給水区域内の需要に対しては、給水義務を負うことと定義されている。上水道事業が広く一般家庭等に給水するのに対し、工業用水道事業は、特定少数の工場等に大量の工業用水を供給することが特徴である。所轄官庁は、工業用水道が経済産業省、上水道が厚生労働省である。また、工業用水法第1条では、「この法律は、特定の地域について、工業用水の合理的な供給を確保するとともに、地下水の水源の保全を図り、もつてその地域における工業の健全な発達と地盤

の沈下の防止に資することを目的とする。」とされ、地盤沈下対策として、工業用水を利用することで地下水の取水を制限している。

工業用水道は、取水、貯水、導水、浄水、送水、配水の各施設から構成される。ここでは、水処理をおこなう浄水施設を取り上げ、日本の工業用水の特徴について述べる。

2. 水質基準

水質に関しては、上水道が水道法第4条で水質基準が定められ全国一律であることに対して、工業用水道は、各事業者の工業用水道供給規定等に定められ、事業者により異なる基準であることが特徴の一つである。表1に標準的な工業用水道の供給水質基準とそれに対応する水道水質基準を示す。水道水質基準は、51項目あり飲用する上水の方が工業用水の標準的な水質基準値よりも項目も多く、また概ね厳しくなっているが、配管の腐食やスケールの発生等の原因となる項目は、工業用水の方が厳しくなっている。例えば、工業用水の方がpHの範囲がより中性付近であり、



Industrial Water Features of Japan
Hirofumi ITO
1986年 山梨大学大学院工学研究科修士
現在 水ing(株)上下水技術統括 副統括
連絡先：〒108-8470 東京都港区港南1-7-18
E-mail ito.hirofumi@swing-w.com

2017年6月16日受理

† Kuroki, M. 平成29,30年化工誌編集委員(11号特集主査)
出光興産(株)生産技術センター

表1 工業用水道供給標準水質¹⁾と水道水質基準

項目	濁度 (度)	pH	アルカリ度 (CaCO ₃) (mg/L)	硬度 (CaCO ₃) (mg/L)	蒸発残留物 (mg/L)	塩化物イオン (Cl ⁻) (mg/L)	鉄 Fe (mg/L)	マンガン Mn (mg/L)
工業用水道供給標準	20以下	6.5～8.0	75以下	120以下	250以下	80以下	0.3以下	0.2以下
水道水質基準	2以下	5.8～8.6	基準なし	300以下	500以下	200以下	0.3以下	0.05以下

備考：網掛けは、工業用水道供給標準の方が水道水質基準よりも厳しい数値を示す。

硬度、蒸発残留物、塩化物イオンも上水に比べて半分以下と厳しくなっている。さらに水道水質基準には無いアルカリ度が規定されている。

3. 凝集沈殿処理

工業用水の処理は、濁度除去を目的とした凝集沈殿処理が主流である。原水濁度が基準値以内の場合は、凝集剤を注入せず処理をしないまま配水する場合もある。原水である河川水が良好な水質のため、大きな夾雑物を除去する除塵機と砂を除去する沈砂池のみで処理して配水している施設もある。ここでは、凝集沈殿処理のメカニズム等について述べる。

3.1 メカニズム

「百年河清を俟つ」ということわざがある。どれだけ待っても望みが叶わないこと、あてもないのいつまでも待つことを意味する。中国で「河」と書けば「黄河」のことであり、黄河はその名の通りいつも濁っていて、それが澄むのは、百年でも足りないことに由来することわざである。では何故、黄河の水は濁ったままなのか。それは、水の中にコロイドと呼ばれる表面にマイナスの電荷を持った極めて小さい粒子(1～100 nm)が電氣的に互いに反発、分散しているためである。この水にプラスの電荷を持った凝集剤と呼ばれる薬品を注入して急速に攪拌すると電氣的に中和され、コロイド同士が小さな塊(マイクロフロック)になり(図1)、さらにゆっくり攪拌することにより大きな塊となって沈降する。この塊をフロックといい、この原理が凝集沈殿処理と呼ばれるものである。凝集沈殿処理では、原水にポリ塩化アルミニウム(PAC)や硫酸バンド等の凝集剤を注入して、急速攪拌後に緩速攪拌する。緩速攪拌では、フロキュレータと呼ばれる機械式攪拌装置で徐々に攪拌強度を小さくして(テーパード・フロキュレーション)フロックを大きくして沈降しやすくする方法がとられる(図2)。緩速攪拌には、機械式の他に水の位置エネルギーを利用して攪拌する「迂流式」がある。

3.2 フロックの沈降性

フロックの沈降性を表す際に用いられるのが下記のストークスの式である。

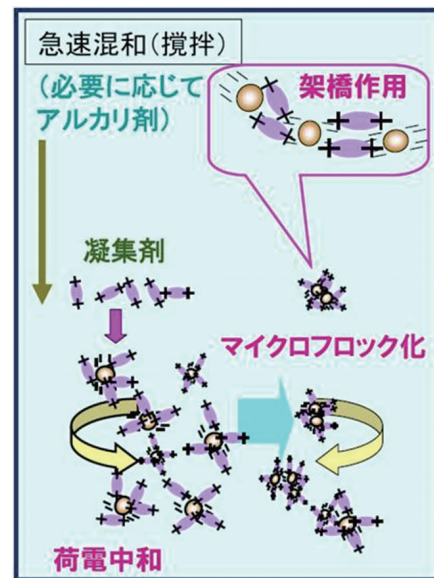


図1 凝集の模式図

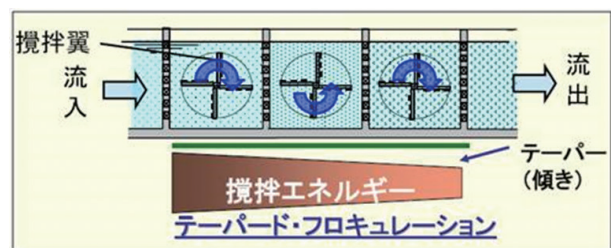


図2 緩速攪拌の模式図

$$v = (\rho_s - \rho_w) / 18\mu \times d^2 g$$

ここで、 v ：沈降速度(cm/s)、 ρ_s ：粒子の密度(g/cm³)、 ρ_w ：水の密度(g/cm³)、 μ ：水の粘性係数(g/cm・s)、 d ：粒子径(cm)、 g ：重力加速度(cm/s²)。

この式から分かるように沈降速度(v)を大きくするには、粒子の密度(ρ_s)と粒子径(d)を大きくし、水の粘性係数(μ)を小さくすれば良い。すなわち、重く大きなフロックを作れば、早く沈降することになる。最適な凝集剤注入量を見つけるために用いられる方法が室内でおこなうジャーテストと呼ばれるもので、複数のビーカーに凝集剤量を変えて注入して急速攪拌、緩速攪拌、沈静後に上澄み水の濁度を測定して最も良い条件を施設に反映させる。この時に沈降性の良いフロックが形成される様子を観察することも重要である。

3.3 傾斜板沈降装置

凝集沈殿処理において、処理効率を向上させるには、前述のように沈降性の良いフロックを作ることが重要である。これ以外に処理効率を向上させることができる方法が傾斜板沈降装置の設置である。沈殿池の沈降効率を示す数値として表面負荷率 V_0 (mm/min) がある。

$$V_0 = Q/A \times 10^3$$

ここで、 Q : 処理水量 (m^3/min)、 A : 沈殿池底面積 (m^2)。

表面負荷率は、単位面積当たりの処理水量のことで、小さいほど沈殿効率が高くなる。処理水量を少なくする、または、沈殿池面積を大きくすれば、沈殿効率が向上する。すなわち、同じフロックの性状で同じ処理水量では、沈殿池面積が大きいほど沈殿効率が高くなる (図3)。階層式の沈殿池にすれば、沈殿池面積を大きくすることができるが沈殿したフロックを排出する掻寄機が多くなる。一方、階層式としないで沈殿面積を増やし、沈殿したフロックが自然に滑り落ちるようにしたものが傾斜板沈降装置である。傾斜板沈降装置は、昭和30年代に早稲田大学教授であった宇野昌平が発明したもので、前述のポリ塩化アルミニウム (PAC) とともに日本が世界に誇ることができる水処理関連の発明である。傾斜板と同じ原理の管状の傾斜管沈降装置もあり、上向流の沈殿池に用いられる。

3.4 処理方式の変遷

凝集沈殿処理は、沈殿池の形状等によりその方式が分類され基本となる方式が横流式沈殿池であり、その後、高速凝集沈殿池、傾斜板沈殿池、超高速凝集沈殿池へと新しい方式が開発されている (図4)。

横流式沈殿池は、凝集沈殿池の基本形で表面負荷率を低くするために長方形の長い構造になっていて沈殿池面積を大きくとっている。汚泥掻寄機も無くシンプルな構造の沈殿池もある。

高速凝集沈殿池は、米国からの導入技術で昭和30年代から多く建設されている。原水を循環するフロックと接触させ凝集と沈殿を上下の仕切られた一体の水槽で処理できるため省スペースを特徴とする装置である。

傾斜板沈殿池は、日本の発明品である傾斜板沈降装置を設置することにより、横流式沈殿池に比べて省スペースで安定した処理水が得られるため現在の主流となっている。傾斜板の原理と同様に傾斜管を設置した装置もあり上向流で処理する。

超高速凝集沈殿池は、欧州からの導入技術でマイクロサンド及び高分子凝集剤 (ポリマ) を用いて沈降性の良いフロックを作ることにより高速で処理できるため高速凝集沈殿池よりも更に省スペースにできる装置である。沈殿池には、傾斜板 (管) 沈降装置を設置して、急速ろ過池の逆流流速以上 (最大1 m/min程度) の高速で上向流にて処理する。

4. 排水処理

凝集沈殿処理で発生する沈殿汚泥を処理する施設が排水処理施設である。水質汚濁防止法では、10,000 m^3 /日以上浄水処理能力 (沈殿池またはろ過池) の施設は、特定施設とされ排水処理施設の設置義務が生じる。また、排水処理施設から排出される脱水汚泥は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(廃掃法) によって、産業廃棄物として適切に処理することが義務付けられている。一般的な排水処理設備

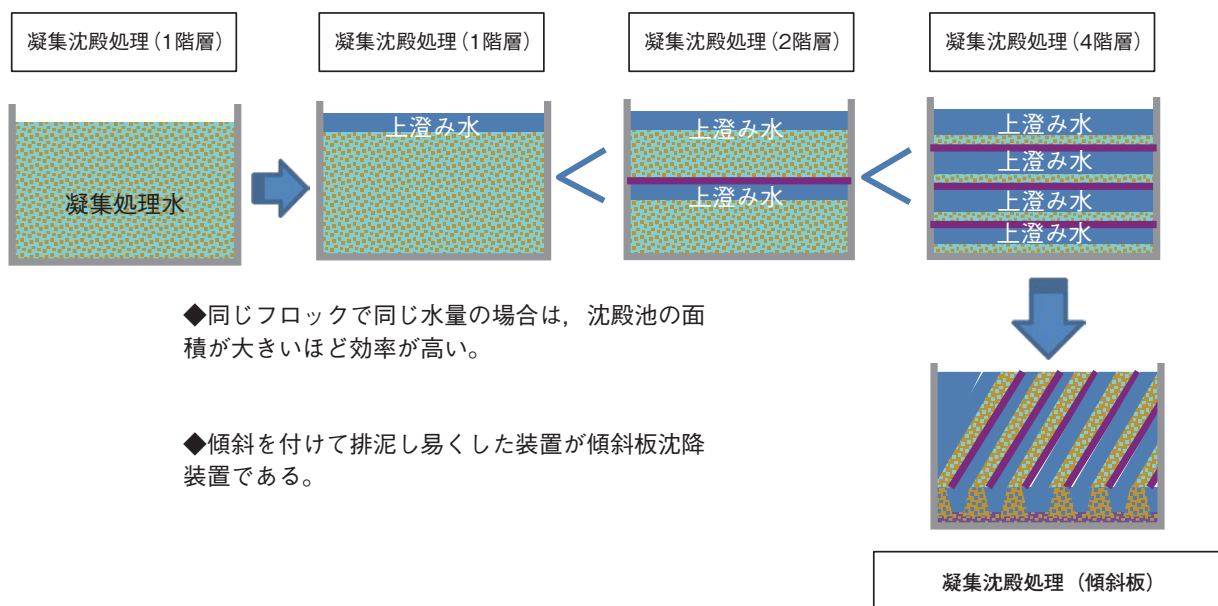


図3 傾斜板沈殿池の効果

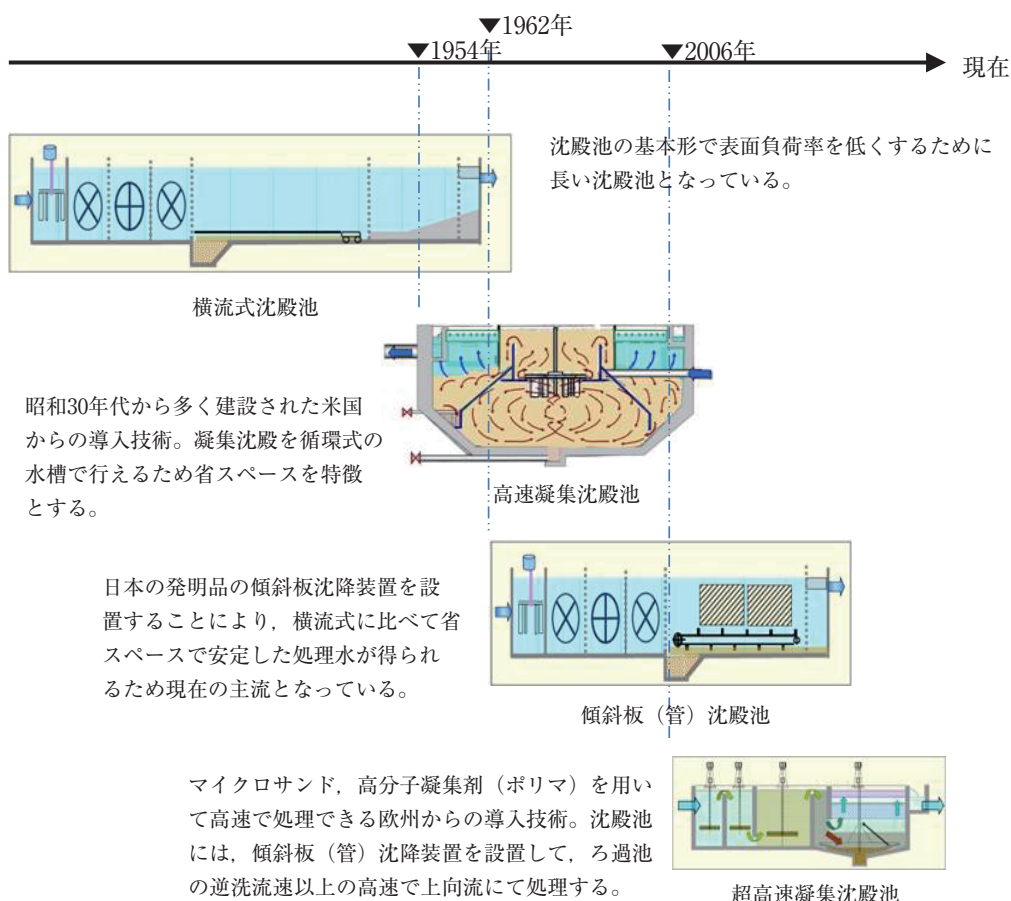


図4 凝集沈殿処理方式の変遷

は、沈殿汚泥を受入れる排泥池、後段の脱水処理がし易くなるように汚泥を重力により濃縮する濃縮槽及び脱水装置で構成される。

脱水装置には、太陽光及び風という自然エネルギーを利用して脱水する天日乾燥床とフィルタープレス等の機械式がある。敷地に余裕がある場合には、天日乾燥床の方が安価である。一方、敷地に制約がある場合などは、機械式脱水機を設置する場合も多く、両者の組合せもある。脱水汚泥は、廃棄するだけでなく、農業や園芸用の土壌として有効利用されている。

5. その他の処理

工業用水は、凝集沈殿処理が主流であるが、上水と同様にろ過設備を設置している施設もある。ろ過することにより、濁度が低くできるため水質が向上する。更にろ過設備の前に次亜塩素酸ナトリウム (NaClO) 等の塩素剤を添加す

ることでマンガンを除去できるためマンガンを低減する場合にこの接触ろ過法が用いられている。

6. おわりに

工業用水は、産業の血液とも言われていて製造業等には欠かすことのできない貴重な資源である。しかしながら、高度経済成長期に建設された工業用水道施設の老朽化により、配水管の破損や浄水場の機器類の故障等による事故が多く報告されている²⁾。今後も健全な施設を保つことができるような中長期的な更新計画の策定と着実な実施が重要である。

引用文献

- 1) (一社)日本工業用水協会：工業用水道施設設計指針・解説, p.128(2004)の表-4.1.1より転載
- 2) (一社)日本工業用水協会：工業用水, p.634(2016)