

特集

高濁度原水に対応した浄水処理技術

高濁度対応の 21世紀型最新ろ過技術 「ダブルクリーン式」

日本スレッド(株) 常松 佑一郎

はじめに：ろ過の必要性とろ過方法

(1) ろ過方法の歴史は、概して①自然発生で始まった砂ろ過（緩速ろ過）、②戦後急速に広まった凝集剤によって凝集沈殿させる急速ろ過、③約30年前に始まった微細な孔径のろ過材（化学繊維）による膜ろ過、の3種類であるが、この50年間で見れば膜ろ過以外に新しいろ過方式はスレッド式ろ過装置以外には無かった。

今回、更に新しい構想のダブルクリーン式の実用化を検討しているので、スレッド式によるハイブリッド型、急速反応型の無機系凝集剤と併せ高濁度対応として説明する。

(2) ろ過装置は、土砂などが溶解している濁水からフィルター（ろ過材）によってシルトの微粒子などを除去して清澄な液体を得る装置である。

重要なのはフィルターであり、ろ過材の種類によって、砂ろ過、膜ろ過、糸や不織布、メッシュ（金網）、などに分かれ、孔径（目開き）によって、ろ過の方法や精度が異なる。

一般的なるろ過材の孔径（目開き）は、砂ろ過では5～20 μm 、糸巻きや不織布の場合は0.5～10 μm 程度、膜ろ過（精密ろ過膜・限外ろ過膜）は0.01～0.1 μm とされている。

ろ過という工程は、上水道、下水道、製造工場などのプロセス水を製造したり、排

水処理などのために必要であるが、ここでは上水道（浄水）の事例を紹介する。

(3) 平成8年に埼玉県越生町では水道水を飲んだ12,000名の町民のうち約9,000名がクリプトスポリジウム原虫（以下、「クリプト」という）に大量感染するという事故が発生したが、クリプトは、直径5～8 μm の球形で全体が硬い殻に覆われ、通常は水の中で10～150個程度が塊になっており、塊の場合は滅菌用の次亜塩素では効果は無いし、10mJ程度の紫外線では不活化できない。

完全かつ確実なクリプト対策は、クリプトを通さない目開き5 μm 以下のフィルターや膜によってろ過する方法がベストであり、越生町の事故を機に厚労省は、膜ろ過・スレッド式などのクリプト対策に25%の補助金を支給している。

(4) 膜ろ過は、30年程前に開発された理想的なるろ過方式であり、浄水場のろ過方式の本命と考えられていたが、時代を経るにつれて課題が顕在化してきた。

その課題とは、①設備が高額であること、②孔径が小さいため高いろ過圧を必要とすること、③流束（ $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ ）が1～2m程度と小さいため広いろ過面積を必要とすること、④薬品洗浄などの維持管理には知識や技術を要すること、⑤凝集剤（PAC）の添加が必須であること、⑥メンテ費が高いこと、等々であり、補助金が支

給されるとはいえ自治体にとって財政負担は大きい。

高齢化と人口減少（限界集落の増加）、設備が老朽化する中で浄水場の集約が行われて来たが、現在のろ過方式には一長一短があり、今や理想的なろ過方式が見当たらないだけに浄水装置の大量更新期を迎えて、ろ過方式を決めかねている自治体は多い。

- (5) 日本で製造されたペットボトルの水と水道水はともに軟水であり、ミネラル量に僅かの違いがあるだけで味には差が殆ど無い。しかし価格は、水道水1m³とペットボトル1本がほぼ同じであり、400～1,000倍の違いがある。

水道水は、洗濯、トイレ、風呂に全体の85%程度が消費され、残りの15%しか飲用や調理に使用されていないが、水道水を製造するために高いコストをかけて膜ろ過方式にする必要があるのか、料金値上げによる住民の経済負担、大口利用者の水道離れなどについてその是非が多く市の町村で議論されている。

特に、環境省や厚労省は将来性を見据えて浄水場で使用する電力使用量の更なる抑制を指導しており、送水圧や維持管理費の低減など省エネや安全性も課題にしている。

1 高濁度原水への対応

- (1) ろ過効率を上げるためには目詰まりの原因となる大きな粒子を事前に除去する必要があり、濁度の変動が大きい表流水などでは目の粗い前処理装置（粗ろ過）を設置している。

原水の濁度が7度程度以下であればそのままろ過が行われるし、これを超えれば粗ろ過によって、大粒の粒子などを事前に除去し、さらに、濁度が50度を超えるようであれば凝集剤を使用して微粒子などを沈殿

させて、上澄み水をろ過装置で濾すことになる。

- (2) 急速ろ過は、微粒子を除去する手段として凝集剤（PAC：ポリ塩化アルミ）を使用する方法であり、原水の濁度が200度程度でも凝集剤（PAC）によって凝集沈殿させ、上澄み水の濁度を10度程度に下げ、それを砂でろ過するという、近代では最も効率的なろ過方法である。

東京・大阪など多くの大都市では、河川水を原水としているため、ろ過量の80%以上が急速ろ過の処理水であるが、ゲリラ豪雨によって濁度が2,000度を超す場合には凝集剤のPACでは凝集反応が遅いため、直ちに取水停止の措置が取られる。

急速ろ過と緩速ろ過は、ろ過水の濁度が0.1度程度であれば適切にろ過されてクリプトの対策がされているとみなされるが、そのためには高度の技術と厳しい管理が必要であり、全国各地で急速ろ過などの後段にスレッド式などを設置する安全策が検討されている。

- (3) スレッド式でも、砂ろ過や繊維ろ過と組み合わせて高濁度に対応する場合（「ハイブリッド型」と呼称）もあるが、当社では原水濁度の上限を50度程度とするダブルクリーンろ過方式（後述）を開発しており、これが実用化できれば新たなページを開くことになる。

2 スレッド式ろ過装置

- (1) スレッド式は、世界で唯一の糸巻き式のフィルターを使用したイスラエル製の高性能のろ過装置であり、10μmの細い糸を1,000m以上巻いた目開き3μmの板状のカセットフィルターを約3,640枚収納し、カセットの表面と糸層で微粒子やクリプトを阻止する。

この装置は、水道技術研究センターによって「水道用浄水装置」（クリプトを99.9%除去）として 膜ろ過以外ではクリプト対策機として唯一認定（平成18年6月30日）されている。

カセット表面と糸層内に溜った微粒子は、逆洗ではなくてろ過側から小さいノズルから0.8MPaの高圧で水を吹き付けて排除し、排出し終わったらろ過を再開する。

- (2) スレッド式は、クリプト対策と微粒子の除去（濁度低減）を目的にしており流束100m以上、回収率97%以上、という高効率のろ過装置である。

それでも原水濁度が10～20度程度の場合には前処理として繊維ろ過装置、または砂ろ過などによって濁度を予め5度程度に低下させる必要があるが、最終的にはスレッド式によってろ過水の濁度を0.5度程度以下でかつクリプトを除去できる。

砂ろ過は、一般的には粗ろ過や除鉄除マンガンとして使用されるが、目開きが一定しないため後段のスレッド式と組み合わせてクリプト対策（山梨県北杜市）が行われており、ろ過後の濁度は必ずしも0.1度でなくても良い。

- (3) 流束が100m以上のため装置は小型で、ろ過精度が安定しており、維持管理が簡単、安価で省エネ、メンテナンス費用が安いことなどが評価されて今年3月には大型のMTG機（標準日量約2,800m³）が福岡県宮若市に3基、北海道置戸町に2基、設置された。

スレッド式は単体のろ過装置なので、装置を現場に設置し、配管工事と制御盤をセットし、試運転調整するだけで簡単に設置できる手順のかからないシステムである。

全世界では毎年150～250基出荷されており、日本ではアルテック社が輸入し、当社が国内販売を統括している。

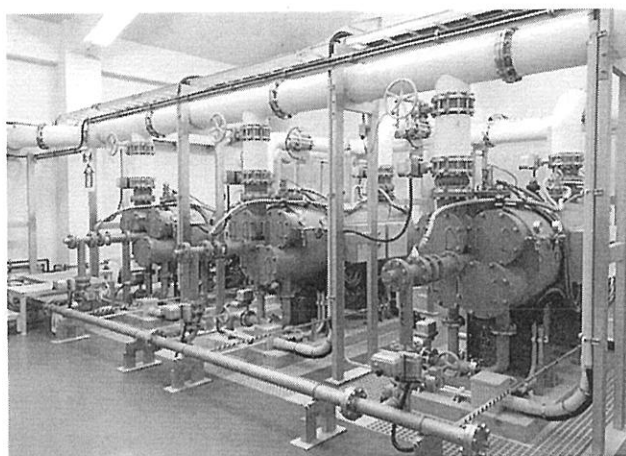


写真1 宮若市の新生見浄水場（4,900m³/日）

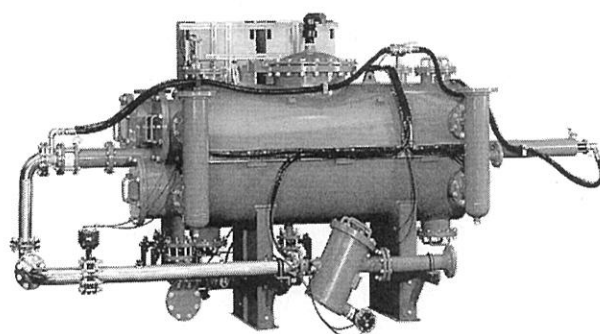


写真2 MTG-3μm、2,800～3,800m³/日

日本での実績は少ないが、今後は増えると予測している。

3 ダブルクリーン式ろ過装置

- (1) 当社の研究開発を担うグループ会社の(株)リテラは、新しい構想の「ダブルクリーン式ろ過装置」を世界で初めて実用化し、今秋の発売を予定している。

平成19年の横浜市鶴ヶ峰浄水場のテストではフィルターに「使い捨て用の不織布」を使用したため、逆洗が十分でなかったが、その後開発に取り組み、平成26年になって目開き2μmで高圧の逆洗が可能ほぼ理想に近い積層繊維フィルターを開発した。

まさに、大孔径膜のメンブレンフィルター版であり、円筒形で使い易いフィルターである。

今秋から浄水場において、ろ過テストを行い、来春には水道技術研究センターに認定申請したいと考えているが、テストの結果によっては仕様や内容を修正することになる。

- (2) ダブルクリーン式は、浸漬型のろ過装置であり、遠心力、クロスフローを組み込んだ特殊なモジュールを使用し、これに孔径(目開き) $2\mu\text{m}$ の積層繊維フィルターをセットしているのです。ろ過の対象となる原水濁度の最大は20度程度が可能である。

さらに原水濁度が50度程度に変動しても流束を下げれば(ろ過量を減らせば)原水濁度が50度程度であっても前処理装置や凝集剤の力を借りなくても原水を直接ろ過することができる。

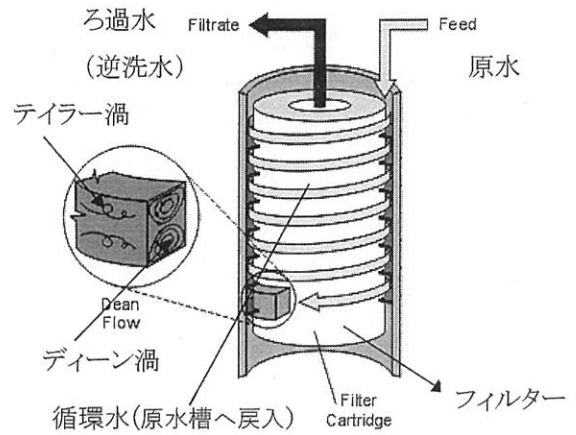
この場合でもろ過水の濁度は0.5程度になり、クリプトも除去できる。

水道技術研究センターの「水道用浄水装置」の認定を取得できれば、モジュールを2本使用した $20\text{m}^3/\text{日}$ の小型システムに製作(ベースにセット)できるので、街の水道工事店による設置工事も可能になり、10~30世帯の小集落でも安全な飲料水を確保できる。

- (3) この高濁度対応を可能にしたのは、浸漬型と特殊なモジュールの構造にあり、遠心力、クロスフローなどの天然現象を目詰まり防止に利用している。

モジュールの構造は、内側には螺旋状の溝(水路)を設けてあり、原水が回転しながら循環水として流れるので、そこに発生した遠心力によって微粒子の70~90%は溝の外側に追いやられ内側には清澄な水が流れることになる(第1図)。

この清澄になった原水(循環水)をモジュールの中央に設置された目開き $2\mu\text{m}$ のフィルターによって流束100m(膜ろ過の約100倍の効率)、 0.04MPa で吸引ろ過する。



第1図 基本原理



写真3 モジュールの形状(中央にフィルターを収納)

- (4) 原水は、モジュール下部の循環水配管から吸引されるため、溝の内部を回転しながら流れるが、その流れはフィルター表面ではクロスフローの効果をもたらし、フィルター表面に堆積しようとする微粒子を下流に押し流して目詰まりを防いでいる。

(注) 欧米では、「フィルター面を流れる流体にはエッジ部分の表面に付着した微粒子を削ぐ効果がある。」とするディーンフローとテイラーフローに関する論文が多数あるが、日本は僅かなので第1図において二つの渦の場所と名称の記載にとどめた。

- (5) 積層繊維フィルターは、ポリプロピレンの繊維を織り込んで積層効果によって目開き $2\mu\text{m}$ の精度を得た後、熱処置によって層

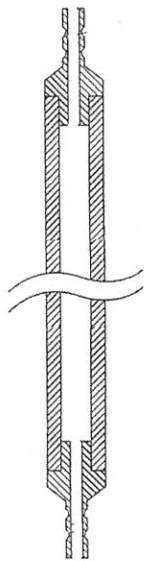
厚5mmの円筒形に成形している。

繊維層は熱によって固化しているため最大0.2MPaの高圧逆洗に耐える構造になっており、数年間の使用が可能である。

さらに、逆洗水に次亜塩素を添加することによりフィルター内部の雑菌繁殖を抑えることができるので極めて衛生的である。

また、クロスフローの効果を高めるためフィルターの表面を平滑に加工しているので、微粒子などが付着し難い。

なお、モジュールは、10本で1ユニット(100m³/日)を構成しており、ユニットにはヘッダーや配管も一体成形されている。



第2図 フィルターの断面

- (6) フィルターの目詰まりに対しては、差圧(0.07MPa)、または、ろ過量を検知(タイマーを併用)して、空気ろ過水を使用して定期的に逆洗を行う。

浸漬型では、逆洗排水によって原水槽の濁度は徐々に上昇するため、原水槽の濁度が30度程度を超えれば全量を排出する。

(注) ダブルクリーン式は浸漬型であるが、モジュールを使用しているため、逆洗排水を収集して排出する装置を設置する。この装置を使用すれば原水層の濁度の上昇を防ぐことができ

るため、連続運転が可能であり、回収率はほぼ100%にすることができる。

- (7) ダブルクリーン式の特徴は、モジュール部分では、遠心力、クロスフローを使用してフィルターの表面から微粒子を掻き取り、また、フィルターでは表層の5 μ mの硬質繊維と目開き2 μ mの積層繊維により微粒子を阻止するという極めて効率的で安全性の高いろ過方法である。

また、装置としては、①流束100m³/m²/日で省スペース、②数年使用できる逆洗可能なフィルターを使用、③1本9,000円程度の安いフィルター、④フィルターの交換には特別な技術を要しない、⑤省エネ、⑥安価なシステム、⑦簡単な維持管理、⑦安いメンテナンス費用、等々が挙げられる。

さらに、モジュールとフィルターは水槽底部に固定されているため、故障の心配は殆ど無く、原水(循環水)を流すポンプやバルブ、制御機器(制限盤など)は総てが1ヶ所にまとめられ、しかも機器は汎用品でもあり、どこでも調達できる。

- (8) 川崎市国際環境技術展2018(2月1日~2日)に、10m³/日のデモ機(写真4)を

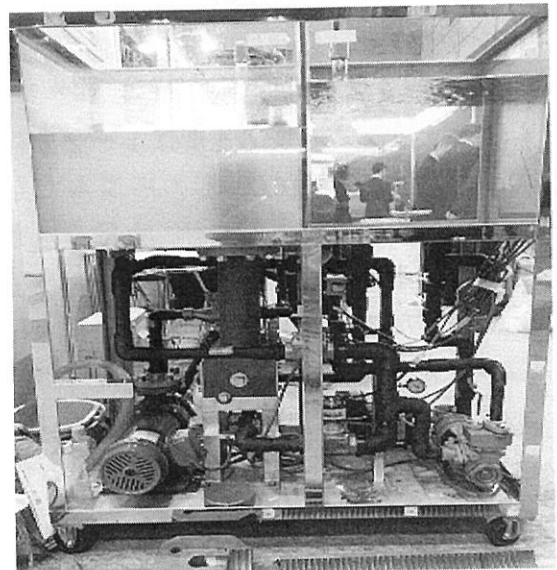


写真4 展示デモ機(左水槽:原水 右水槽:ろ過水)

展示したが、濁度30～50度の原水が濁度0.2度にろ過されていたことで、外国人から多くの質問を受けた。

当面は、20～40m³/日の極小機を、小規模浄水場、プロセス水の製造、排出処理、膜ろ過の前処理、災害対策の他に東南アジアへの輸出を検討しているが、理論的にはユニット(写真5)を増設することによって数百トン、数千トンの大規模システムも可能であると考える。

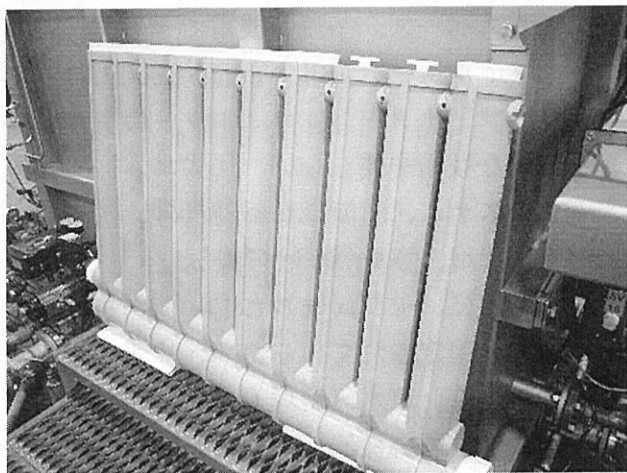


写真5 ユニット

4 無機系凝集剤「スミナックス」

(1) (株)リテラは、急速反応型の無機系凝集剤「スミナックス」も開発している。

スミナックスの反応速度は1～2分程度であり、原水濁度6,000度の高濁水でも2～3分で凝集沈殿するので、上澄み水を直接ろ過することが可能である。

沈殿したスラッジは塊になるので天日乾燥しなくても遠心分離機によって簡単に脱水できる。スミナックスを使用すれば、ゲリラ豪雨でも取水を停止しなくて済む画期的なろ過システムが可能になるので、7月の西日本豪雨の際には取水停止を余儀なくされた自治体やエンジニアリング会社から

応対し切れないほど多数の問い合わせが寄せられた。

(注) 当社ホームページで「スミナックス」を検索すれば、素早い凝集効果を動画で見ることができる。

(2) 高濁度原水に使用するため、「水道用凝集剤」として日水協に認定を申請し、審査が開始されたが、その直後に如何なる理由があるのか、審査は事実上棚上げされている。

必ずしも日水協の認証を得なければ使用できないことは無いが、濁度3,000度の原水を凝集沈殿した上澄み水は、厚労省が指定している浄水場用の凝集剤としての条件(50項目)を総てクリアしており、浄水場の現場では高濁度であっても取水停止しなくて済むことから、スミナックスが認定を得られることを期待する自治体や浄水場の関係者は多い。

おわりに

食品、医薬、機械産業では日進月歩で技術が進展しているが、水処理分野では大手エンジニアリング会社などから新しいろ過方式が開発されたとの情報は寡聞にして聞かない。

スレッド式やダブルは急速ろ過からの更新には最適であるとの声も多く、スミナックスとともに、安全で安価、高効率で、安いメンテ費、省エネなどにより自治体の役に立ちたい。

ダブルクリーン式については、日本発信の最新型ろ過装置としてインド、台湾、タイなどへの輸出を開始し、日本では2～3年後に浄水場などの設備更新に参加したいと考えている。

<問い合わせ先>

URL : <http://www.reterra.jp/>

E-mail : y.tsunematsu@jthread.tokyo

常松 佑一郎

日本スレッド(株) 代表取締役社長
(株)リテラ 取締役