

「特集：水道事業における脱炭素化への取組」

水位差利用型膜濾過システムの導入による脱炭素化への貢献

日本水道工業団体連合会会員
メタウォーター株式会社

1. 検討の経緯

令和3年10月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」では、施策の一つとして上水道においては、省エネルギー・高効率機器の導入及び施設の広域化・統廃合・再配置による省エネルギー化の推進や、小水力発電、太陽光発電などの再生可能エネルギー発電設備の導入を実施することとしている。水道事業におけるエネルギー消費は、取水、導水、送配水といった水輸送系が大半を占めることから、この領域におけるCO₂削減ポテンシャルが高いものの、その実現は容易ではない。このため、浄水処理工程においても着実に対策を進めていく必要がある。

水道用水供給事業及び上水道事業の浄水処理方式を計画浄水量ベースで見ると、緩速濾過及び急速濾過が82%を占めるが、近年では、浄水施設の更新、新設にあたり、浄水水質が優れていることに加えて、省スペース性、維持管理の容易性が評価され、膜濾過の採用が広がっている。しかしながら、消費電力量が他の浄水方式よりも大きいことが採用の妨げとなっているケースもあることから、脱炭素化への取組みとして消費電力量の削減を推し進めることが、膜濾過の更なる普及に繋がるものと考えられる。

本稿では、この課題への施策として膜濾過前後の水位差を最大限有効利用し、膜濾過浄水施設における大幅な省エネルギー化を実現した事例を紹介する。

2. セラミック膜の概要と特徴

2.1 セラミック膜の概要

内圧式ケーシング収納型セラミック膜濾過装置(以下、「セラ膜装置」という。)は、ステンレスのケーシングの中にセラミック製の膜(以下、「セラ膜」という。)を収納したものである。セラ膜

装置の通水方法は原水をセラ膜の一次側から二次側に圧力をかけて濾過するものである(図-1、表-1)。主に原水の押し込み圧(水位差やポンプによる圧送)や吸込み圧を活用し、膜濾過を実施する。また、セラ膜は機械的強度が高く、薬品劣化、経年劣化が少なく膜破断の可能性が極めて低い、長期間継続的に使用可能な膜である。

2.2 水位差利用に適したセラ膜の特長

セラ膜の特長は、

- a) 純水透水能力が約40m³/m²/日と高く、常時低い圧力での運転が可能。
- b) 機械的強度と薬品耐性が非常に高く、高圧逆洗に加え、薬品強化逆洗や薬品洗浄により長期間低い圧力での運転が可能。

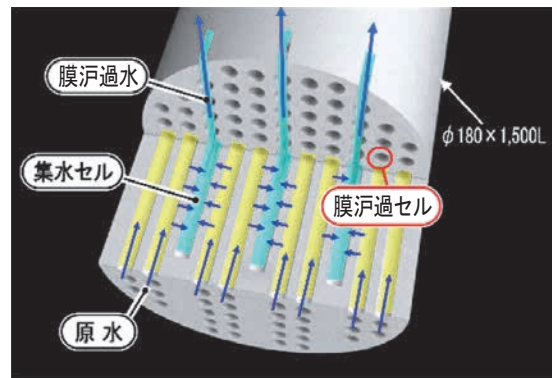


図-1 膜エレメントの構造

表-1 膜濾過の仕様

膜濾過法の種類	精密膜濾過法 (MF 膜)
膜濾過方式	全量濾過方式
モジュール形式	ケーシング収納 モノリス型
膜材質	セラミック
孔径	0.1 μm

c) 高濁度に強くゲリラ豪雨などによる急激な原水悪化への対応性が高く安定した汙過運転が可能。

このような特長を持つセラ膜は、日本全国で約170カ所稼働している。稼働中のセラ膜はそれぞれの原水水質条件に合わせ1.0m/日から6.0m/日と幅広い膜汙過流束にて運用されており、初期の膜汙過圧力としては、およそ3kPaから15kPaと非常に低圧力で稼働している。また、高い流束での運転も可能であり、この場合、セラ膜装置台数、補器類およびそれを収納する建物をコンパクトにすることができ、敷地の省面積化に寄与する。省面積化した土地に太陽光などの創エネ設備を導入することも可能となる。

3. 水位差利用のパターン

既存の浄水処理である緩速汙過や急速汙過は、浄水場の着水井で原水を受水した後、着水井と浄水池の水位差で浄水処理を行うことが一般的である。膜汙過方式は、汙過のためのポンプ等の動力を要するため、運転費用がかかることが多い。しかし、原水の水位と浄水池の水位差を利用することで動力費の削減が可能となる。

水位差利用における膜汙過の配置の関係を表-2に示す。

導水圧が着水井水位より高い場合は導水圧を利用することが可能となる。特に取水位置が高く導水圧に余裕が有る条件にセラ膜を適用する場合は、処理動力削減の効果が大きい。(Aタイプ)

着水井と浄水池の水位差を利用する場合は、膜汙過設備に対して押し込み圧として利用する場合(B-1タイプ)と吸引圧として利用する場合(B-2)の2種類がある。

いずれの場合も膜汙過に必要な圧力(膜差圧)と浄水量を流量調整弁等で調整して浄水処理を行う。水位条件で最大圧力を確保できない場合は、不足分の圧力を追加できる増圧ポンプ(膜供給ポンプ)を設け、流量調整弁と膜供給ポンプの運転を組み合わせることで膜差圧を確保する。

水位差利用における膜汙過配置の最適なタイプは、取水位置や導水状況と浄水場の高さの関係、浄水場の地盤形状などにより異なる。最適なタイプを選択することで、膜汙過方式でも建設費と運転費を削減した浄水施設にすることができる。

4. 水位差汙過の設計上の留意事項

以下に、水位差を利用するための設計上の留意事項を示す。

4.1 膜閉塞時の流量調整方法

浄水場において設定している最大膜差圧以上の押込圧を水位差のみで確保できている場合には、流量調整弁の開度調整により膜流入流量を制御する。水位差のみで圧力が不足する場合にはポンプを使用して不足した圧力を増圧する。ポンプ動力を抑えるため、ポンプは回転数制御などを行い、また自動洗浄などで膜閉塞が解消された場合にはポンプが自動で停止するなど、運転制御上の配慮が必要である(図-3)。

4.2 流量調整弁の検討

流量調整を弁開度によって行う場合、膜の閉塞状況や運転流量の幅が広い場合、いずれの組み合わせにおいてもキャビテーションの発生が無いように、必要に応じてキャビテーション抑制型の弁などを選定する必要がある。1台の流量調整弁のみでキャビテーションの発生が抑制できない場合には、2台の弁を直列に配置し組み合わせることで対応

表-2 水位差利用の配置別タイプ

タイプ	Aタイプ	B-1タイプ	B-2タイプ
概要	・導水圧をそのまま利用	・着水井と浄水池の水位差を利用 ・膜へは押し込み	・着水井と浄水池の水位差を利用 ・膜から吸引
概要図			

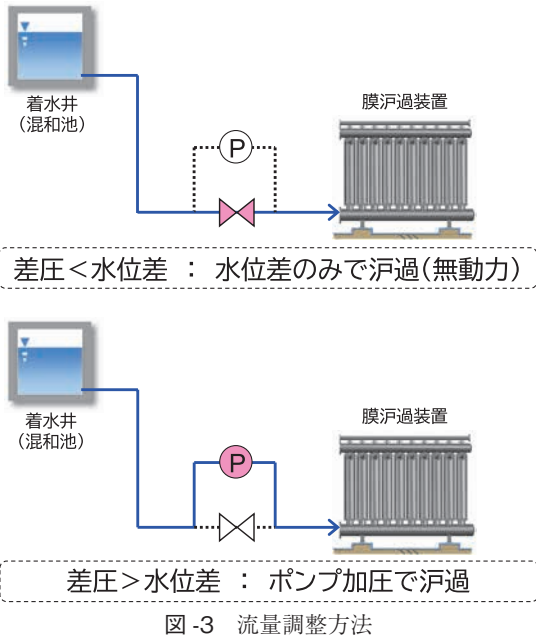


図-3 流量調整方法

するなどの制御が必要となる。

4.3 薬品混和方式の検討

水位差膜ろ過を行う場合、自由水面を持った水槽を設けると圧力が解放されてしまうため、極力自由水面を持たせない配慮が必要となる。そのため pH 調整や凝集剤、塩素剤などについても極力配管注入とし、ラインミキサや曲管を用いて薬品混和を行う。これにより水位差のエネルギーを薬品混和にも有効活用できるので、攪拌機をなくし、動力の削減を図ることができる。

4.4 水位制御

膜ろ過原水を自由水面のある水槽から供給する場合、その水槽の水位が膜ろ過に使用できる圧力となる。そのため、原水槽の水位を監視し水槽の水位を極力高く保つことが消費エネルギーの削減と安定運転のために必要となる。

5. 事例紹介

膜ろ過浄水施設において水位差を有効利用し、省エネルギー化を実現している事例を示す。

5.1 川井浄水場

(1) 浄水場概要

横浜市川井浄水場は、PFI 方式にて再整備、施設整備完了の2014年4月から運用を開始し、約9年の運転実績がある。浄水場の概要を表-3に示

す。

(2) 処理フローと水位差利用の概要

川井浄水場では、道志川系統からの原水を上流部から本浄水場までの導水残圧を有効利用しながら膜ろ過を行っている。処理フローを図-4に示す。水位差利用のタイプは A タイプである。

利用可能な水位差としては、浄水場上部にある上大島接合井 HWL125.5m に対し、川井浄水場内 5 号配水池 HWL90.5m であり、水位差として 35m が利用可能となる。この内、導水管内での圧力損失等を考慮し、膜ろ過運転に利用できる水位差は 11.5m 程度となる。場内に引き入れた原水は、インラインにて薬品混和を実施、膜ろ過されたのちに浄水として川井 5 号配水池に貯水され、各所へ配水される。

(3) 処理動力

2021年度の膜ろ過の運転状況は、平均浄水量 165,835m³/日、膜差圧 8~60kPa、1.5回/年程度の薬品洗浄(計画2回/年)となっており、利用できる水位差に対して十分低い膜差圧で運用されている。

2021年度実績である浄水量と消費電力から所要動力を算出した結果を表-4に示す。空調、照明

表-3 川井浄水場概要

計画浄水量	172,800m ³ /日
供用開始	2014年4月
原水	道志川水系河川表流水
膜ろ過仕様	膜ろ過構成：9,600m ² /系列×6系列 膜ろ過流速：3.6~4.1m/日
その他	太陽光発電：336kW

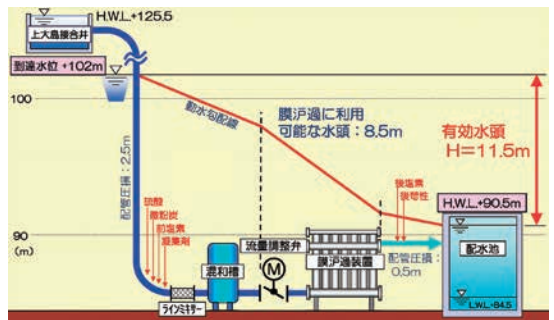


図-4 川井浄水場処理フロー

等の電力量は電力量計が無いので正確に除外することはできないが、所要動力は0.015kWh/m³レベルであった。

5.2 ありあけ浄水場

(1) 浄水場概要

ありあけ浄水場は、大牟田市と荒尾市の共同浄水場として DBO 事業で整備され、2012年 4 月から運用を開始し、約11年の運転実績がある。

浄水場の概要を表-5に示す。

(2) 処理フローと水位差利用の概要

ありあけ浄水場の処理フローを図-5に示す。

水位差利用のタイプは A タイプである。

上の原浄水場で凝集沈澱処理された工業用水は、金山分水場で福岡県と熊本県の工業用水配水管に分岐され、ありあけ浄水場まで導水される。金山分水場の LWL は50.93m に対し、ありあけ浄水場の浄水池 HWL は14.4m であり、水位差として約37m を利用できる。導水管の圧力損失を考慮しても、浄水場入口の導水圧は約25m 程度確保できる。

表-4 川井浄水場浄水量当たり電力量

	浄水量 (m ³ /月)	電力量 (kWh/月)	所要動力 (kWh/m ³)
2021年度	5,044,161	74,537	0.015

注) 消費電力には、浄水処理設備電力に加え、空調や照明などの建築機械電気設備の電力も含まれる

表-5 ありあけ浄水場概要

計画浄水量	26,100m ³ /日
供用開始	2012年 4 月
原水	菊池川表流水を上原浄水場で沈澱処理した工水
膜濾過仕様	膜濾過構成：2,880m ² /系列×4系列 膜濾過流速：2.31~3.1m/日
その他	太陽光発電：5kW

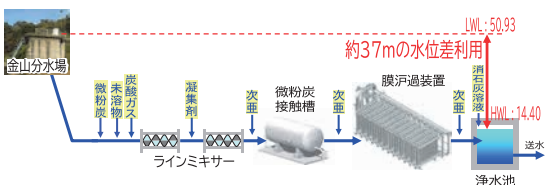


図-5 ありあけ浄水場処理フロー

導水管は、直接設備配管に接続され、原水に各種薬品（微粉炭、凝集剤他）をライン注入で混合させる。微粉炭の接触時間を確保するための圧力タンク式の微粉炭接触槽を経て、増圧ポンプを設置することなく、流量調整弁を通過した原水は膜濾過装置を経由して浄水池に到達する。

浄水は、大牟田市の勝立配水池、延命配水池と荒尾市の中央水源地に送水される。

(3) 処理動力

2021年度の膜濾過の運転状況は、平均浄水量23,560m³/日、膜差圧5.5~22kPa、1回/年の薬品洗浄となっており、利用できる水位差に対し十分低い膜差圧で運用されている。

2021年度実績である浄水量と消費電力から所要動力を算出した結果を表-6に示す。空調、照明等の電力量は電力量計が無いので正確に除外することはできないが、所要動力は0.05kWh/m³レベルと考えられ、急速濾過の所要動力とほぼ同等と考えられる。

5.3 滝沢浄水場

(1) 浄水場概要

滝沢浄水場は、福島県会津若松市の基幹浄水場として DBO 事業で整備され、2017年 3 月から運用を開始し（竣工は2018年 3 月）、約 5 年の運転実績がある。浄水場の概要を表-7に示す。

表-6 ありあけ浄水場浄水量当たり電力量

	浄水量 (m ³ /月)	電力量 (kWh/月)	所要動力 (kWh/m ³)
2021年度	716,609	49,927	0.070

注) 消費電力には、浄水処理設備電力に加え、空調や照明などの建築機械電気設備の電力も含まれる

表-7 滝沢浄水場概要

計画浄水量	27,000m ³ /日
供用開始	2017年 4 月（竣工2018年 3 月）
原水	猪苗代湖からの河川表流水
膜濾過仕様	膜濾過構成：2,400m ² /系列×4系列 膜濾過流速：3.1~4.1m/日
その他	太陽光発電：500kW

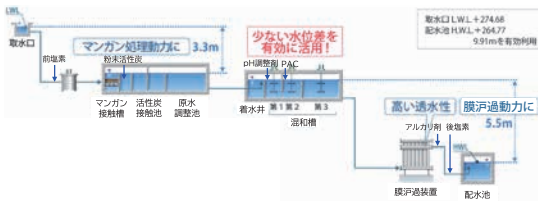


図-6 滝沢浄水場処理フロー

(2) 処理フローと水位差利用の概要

滝沢浄水場の処理フローを図-6に示す。水位差利用のタイプはB-1タイプである。

猪苗代湖の湖沼水は河川を通り、複数の水力発電所などを経由しながら滝沢浄水場まで導水される。取水口のLWL 276.680mに対し、配水池のHWLは264.774mであり、水位差として約9.9mを利用できる。膜の前処理としてマンガン処理に水位3.3mを使用し、さらに配管圧損などを差し引くと、膜の動力として使用できる水位差は5.5m程度となる。

原水はマンガン処理や粉末活性炭接触、凝集混和などを経て膜濾過され、場内の配水池に貯水される。浄水は、一部は送水ポンプにて八幡配水池へと送るものの、その他多くの水量は自然流下で市内へと配水される。

(3) 処理動力

2018年度の膜濾過の運転状況は、平均浄水量21,700m³/日、膜差圧8～25kPa程度、1回/年の薬品洗浄となっており、利用できる水位差に対し十分低い膜差圧で運用されている。

2018年度実績である浄水量と消費電力から所要動力を算出した結果を図-7に示す。

空調、照明等の電力量を除外した所要動力は設計時、実運用ともに0.08kWh/m³（うち送水が0.04kWh/m³程度）であり、急速濾過の所要動力

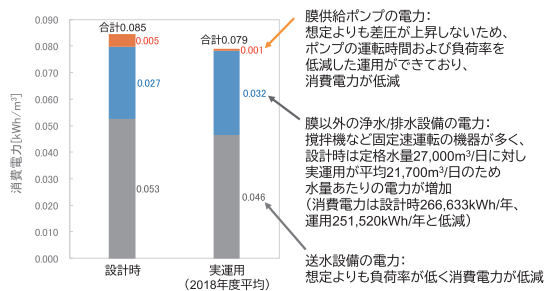


図-7 消費電力量の内訳

表-8 省エネルギー施工事例

浄水場	浄水量 (m ³ /日)	省エネメニュー
東京都水道局 ひむら浄水所	2,720	水位差利用 93m 小水力発電あり
東京都水道局 小河内浄水所	440	水位差利用 21m
秋田県東成瀬村 北部簡易水道浄水場	568	水位差利用 40m、20m

とほぼ同等と考えられる。

5.4 その他の採用事例

5.1～5.3で紹介した事例の他、水位差利用を含めた省エネルギー化施設の施工事例を表-8に示す。

6. 今後の展開

これまで紹介した省エネルギー施策に加え、当社では膜濾過システムの更なる消費電力の削減と省スペース化の実現に取り組んでいる。具体的には、従来の物理洗浄よりも洗浄力の高い酸CEB洗浄（膜性能回復を目的に薬品を添加して物理洗浄を行う化学的強化逆洗）の適用を進めている。これにより、常に低い膜差圧で運転が可能となり消費電力が削減されることに加え、高流束化による膜面積の縮小により、設備の設置面積の縮小も可能となる。これによって空いた用地は太陽光発電や植林などに有効活用することができる。

当社は、水・環境事業に携わる企業として、自社で培ってきた機械技術、電気技術、AI・ICT、運転・維持管理ノウハウなどの様々な技術を保有している。その具体例を以下に示す。

(1)RB 式フラッシュミキサ（機械技術）

攪拌翼とラジアルブレード（RB）の組み合わせにより高効率な薬品混和を実現し、攪拌動力を低減する。

(2)凝集攪拌制御システム（AI/ICT）

フロキュレータの回転数を制御し、凝集剤注入率の最適化を図るシステムである。今後はAI予測技術を用いた高精度のシミュレータを加えることにより、更なる薬品使用量の削減を目指していく。

今後も当社が保有する様々な技術を融合したソリューションにより、省エネルギー・創エネルギー、再生可能エネルギー等のエネルギーマネジメントを提供し、水道事業におけるカーボンニュートラルの実現に向けて貢献していく所存である。