

水位差利用による省エネ型膜ろ過水道システム導入手引き
(事例集)

改訂 2 版

令和元年 10 月 3 日

一般社団法人 膜分離技術振興協会

巻 頭 言

我が国における膜ろ過浄水施設は、平成4年度末で7か所、総浄水能力1,000 m³/日であったものが、平成27年度末で861か所、総浄水能力164万4000 m³/日にまでになり¹⁾、順調に普及しているといえるものの、全国の上水道事業、水道用水供給事業、簡易水道事業を合わせた全体の浄水施設能力に比べると、まだ約1.7%程度である²⁾。その内訳を事業体の給水人口別にみると、簡易水道事業を含めて、給水人口10万未満の事業体全体では、浄水施設能力の約4.2%が膜ろ過であるのに対し、給水人口10万人以上の事業体では、約1.1%にとどまっております²⁾、大規模浄水場への普及が進んでいないことが伺える。

1996年の越生町におけるクリプトスポリジウム集団感染から、水道システムにおけるクリプトスポリジウム対策が重要課題となり、特に地下水を水源とする小規模水道において、塩素消毒、あるいは緩速ろ過による浄水場からの膜ろ過への更新が急速に進んだ。しかしながら、平成19年3月に「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」がとりまとめられて紫外線処理が清澄原水におけるクリプトスポリジウム対策として位置づけられてからは特に、クリプトスポリジウム対策以外の膜浄水導入のメリットが求められるようになってきた。

我が国の膜浄水システムの開発は平成3年に始まるMAC21プロジェクトによって、その技術的土台ができたものであるが、同プロジェクトにおける実証実験は江戸川の表流水を原水としており、また、膜浄水のメリットとしては、浄水水質が圧倒的に優れていることや、原理上凝集剤を用いる必要がないことが強調されていた。平成20年ごろからは、表流水を対象とした大規模な膜浄水施設の導入がすすみ、平成26年には施設能力17万2800 m³/日の横浜市川井浄水場が稼働されるに至っている。

浄水水質が優れていることに加え、省スペース性、維持管理の容易性などの多くの長所を持つ膜浄水であるが、その普及が思ったほど進んでいない理由として、水道事業体側に、建設コストが高い、消費電力量他の維持管理費が高い、システムがブラックボックスとなっており、事業体職員のみでの対応が困難である、などの理由があるということをよく聞く。これらの中には誤解といえるものもあるが、コスト削減が膜浄水普及のカギを握っていることは確かである。とりわけ、あらゆる部門での省エネルギー対策が求められている中、電力消費量の削減は、喫緊の課題ともいえる。

本書は、膜浄水システムを省エネルギー化した事例、そしてより積極的に、膜浄水の導入によって水道システム全体の省エネルギー化が達成された事例をとりまとめ、少なくともエネルギー消費量の問題によって膜浄水施設の導入が躊躇されることのないよう、日本の水道界に膜浄水システムの優秀さをアピールし、さらなる普及を促すために執筆されたものである。膜浄水は電力消費量が多いという誤解が解かれ、膜浄水システムが日本の水道システムの在り方そのものに変革を与えるポテンシャルがあることを、広く水道関係者に認識していただくようになることを、切に願うものである。

東京都市大学 長岡 裕

<参考文献>

- 1) (公財) 水道技術研究センター、「JWRC 水道ホットニュース 523 号」より
- 2) 平成 25 年度水道統計、平成 25 年度全国簡易水道統計を集計

は じ め に

日本国内で MF/UF 膜を利用した浄水施設は 800 箇所以上となりました。これは、国や研究機関、大学、水道事業体、企業が一体となって平成 3 年から実施した MAC21 プロジェクト及びそれ以降継続して実施してきた産官学プロジェクトの大きな成果です。そして、当協会が制定した水道用膜モジュール規格や認定制度の適切な運用も膜ろ過浄水施設の普及の一助となっていると確信します。ただし、日本国内における膜ろ過浄水施設の割合は依然として低く、膜ろ過方式が伸びる余地は多く残されております。また、世界の趨勢から取り残されないか、危機感も感じております。

膜ろ過浄水施設の普及を妨げる要因の一つとして、コストの問題がよく取り上げられます。平成 19 年には紫外線処理がクリプトスポリジウム等原虫対策として認められました。紫外線処理と比較しますと建設費は高価なものとなります。当協会では、この課題を解決する一助として「屋外型膜ろ過施設導入手引き」を平成 25 年に発行致しました。建設費の中でも建屋の費用は比較的高い割合を占めておりますが、膜ろ過浄水施設においては決して必要条件ではありません。前述の手引きは屋外設置を前提とした適切な設備要件や機能維持に関する条項をまとめたものです。

一方、維持管理費についても、特に小規模水道施設では単位水量当たりの費用が高価になる傾向があるようですので、当協会では平成 27 年に処理能力 1,500 m³/日以下の膜ろ過浄水施設を有する水道事業体にアンケート調査を実施致しました。その結果、電力使用量が維持管理費の高い割合を占めることが判明致しました。

近年、ポンプを利用せず、水位差のみで膜ろ過する浄水施設が民間の技術提案により導入され運用されております。ポンプを利用する場合と比較して大幅な電力費の削減が期待できることから、このような膜ろ過浄水施設は益々広がっていくことが予想されます。

本手引きはこのような先進的な膜ろ過浄水施設に着目し、それらの知見を取りまとめたものです。多くの浄水施設で検討され、更なる膜ろ過浄水施設の普及を促進するものと信じております。

一般社団法人膜分離技術振興協会

代表理事 梶田 栄

(平成 29 年 3 月現在)

改訂 2 版の発行にあたり

『水位差利用による省エネ型膜ろ過水道システム導入手引き（事例集）』の初版を平成 29 年 6 月に発行し、約 2 年が経過しました。平成 30 年には、水位差ろ過を採用した奄美市平田浄水場、春日那珂川水道企業団東隈浄水場、会津若松市滝沢浄水場が運転を開始しました。これらは 1 万 $\text{m}^3/\text{日}$ を超え、膜ろ過方式の浄水場としては比較的大規模であります。平成 30 年は、水位差を利用した省エネルギー型の膜ろ過浄水場が着実に広がっていることを示した大変意義のある年であると言えます。

この度、運用を開始した東隈浄水場、海外の事例として中国の望都県地表水場を紹介することとしました。施設能力はいずれの浄水場も 1 万 $\text{m}^3/\text{日}$ を超えています。また、事例紹介の他、膜の普及に関する統計データを更新しました。

日本国内の膜ろ過方式の普及は、年間 30 件程度ですが着実に進行しています。その中で、本書で紹介する水位差ろ過方式の膜ろ過浄水場は着実に進行していくと予想されます。本書が省エネ型膜ろ過水道システムの普及の参考になれば幸いです。

一般社団法人膜分離技術振興協会
膜浄水委員会 鮫島 正一

水位差利用による省エネ型膜ろ過水道システム導入手引き 作成委員会

一般社団法人膜分離技術振興協会

膜浄水委員長 鮫島 正一（株式会社明電舎）

膜浄水委員 阿瀬 智暢（ダイセン・メンブレン・システムズ株式会社）

川瀬 優治（メタウォーター株式会社）
（現水道技術研究センター）

朽木 陽一（株式会社クラレ）

下野 達観（三菱ケミカル株式会社）（初版）

小林 真澄（三菱ケミカル株式会社）（改訂2版）

東京都市大学工学部

教 授 長岡 裕

水道技術経営パートナーズ株式会社

代表取締役 山口 岳夫

用語の定義

(1) 水位差利用

ポンプを使用せず、水位差でろ過することを言う。水位差は、①浄水場内の原水槽と浄水池と間、②取水地点と浄水池との間、等に見出すことができる。配水工程においても、膜ろ過残圧により浄水池や配水池の水位をより高く設定できる場合には、自然流下系の配水区域を増加させたり、送配水ポンプの圧力を低減化させることで、水道システムの省エネに寄与できることもある。

(2) 省エネ

水道システムにおいては、取水量当たりの消費電力量を削減することである。本書では、ケーシング収納型膜モジュールにおいては、上流側からの残圧により無動力でろ過すること、浸漬型膜モジュールにおいては、膜が浸漬する池と浄水池との水位差により無動力でろ過することと定義する。

(3) MF 膜

MF とは Microfiltration の略であり、精密ろ過膜ともいう。0.05 μm ～数 μm 程度の微粒子及び微生物をろ過によって分離するために利用する。なお、本書発刊時点では、日本水道協会の各種資料、並びに膜分離技術振興協会が定める「水道用精密ろ過膜モジュール及び限外ろ過膜モジュール規格」(AMST-001)における MF 膜の孔径は 0.01 μm より大きいことと定義している。

(4) UF 膜

UF とは Ultrafiltration の略であり、限外ろ過膜ともいう。分子量 1,000～100 万程度の溶質又は微粒子をろ過によって分離するために利用する。分離特性は分画分子量で表すが、膜分離技術振興協会の AMST-001 では、UF 膜の孔径は 0.01 μm 以下であることも併記することとしている。

(5) 大孔径膜（大孔径ろ過膜）

公称孔径 1 μm ～2 μm 程度の膜で、*Cryptosporidium parvum* オーシスト等耐塩素性病原生物の除去を主目的とする膜。膜分離技術振興協会の「水道用大孔径ろ過膜モジュール規格」(AMST-004)では、LP 膜 (Large Pore) と称する。

(6) クロスフローろ過

膜ろ過における運転操作方法の一つであり、膜供給水を膜面に沿って流し、透過水が供給水と直角方向に流れるようにするろ過方法。水流でクロスフロー流を作る場合には膜供給水量>透過水量となり、空気でクロスフロー流を作る場合にはブロワ動力が必要になるため、一般的には動力が多くなる傾向にある。

(7) 全量ろ過

膜供給水を循環させることなく水全量をろ過する方法。デッドエンドろ過ともいう。

(8) ケーシング収納膜

供給水口、ろ過水口、排水口を設けた容器にろ過膜を収納して、ポンプ加圧又は水位差によって処理水を得るもの。

(9) 浸漬膜

膜モジュールを膜供給水が流入する槽に浸漬し、吸引ろ過又は水位差によって処理水を得る膜。

(10) 外圧式

中空糸や管状のような円筒形の膜では、外側に形成したスキン層に膜供給水を流し、内側に透過水を取り出すろ過方式。

(11) 内圧式

中空糸や管状のような円筒形の膜では、内側に形成したスキン層に膜供給水を流し、外側に透過水を取り出すろ過方式。多孔質体内部に複数の流路を形成したモノリス膜も内圧式である。

(12) フラックス

単位時間当たり単位膜面積当たりに透過する水の量。透過流束ともいう。

(13) 膜間差圧

膜供給水側（一次側）圧力と透過水側（二次側）圧力との差。TMP (Transmembrane Pressure) ともいう。

(14) 膜材質

本書では、材質としてセラミック、PVDF、CA、親水化 PE の膜を取り上げている。その他種々の材質の膜が上市されている。

- ・セラミック：日本国内の水道用途では、アルミナ系を用いることが多い。
- ・PVDF：ポリフッ化ビニリデン (Polyvinylidene difluoride) の略。
- ・CA：酢酸セルロース (Cellulose Acetate) の略。
- ・親水化 PE：ポリエチレン (Polyethylene) を親水化した材料。

目 次

1. 膜ろ過浄水施設の現状	1
1.1 普及状況	1
1.2 小規模アンケート・ヒアリング調査	3
1.3 膜ろ過の動力費が高いと判断される理由	4
1.4 水道施設設計指針における膜ろ過施設の検討内容と課題	6
1.5 膜導入における省エネの位置づけ	8
2. 膜による水位差ろ過方法の概念	9
3. 事例調査	10
3.1 水源位置エネルギー利用型	11
(1) 横浜市水道局 川井浄水場（セラロック）	11
(2) 福岡県大牟田市・熊本県荒尾市 ありあけ浄水場	14
(3) 東京都水道局 ひむら浄水所	17
(4) 東京都水道局 小河内浄水所	20
(5) 由利本荘市ガス水道局 ボツメキ浄水場	23
(6) 工場用水向け利用の事例 出光興産	26
3.2 場内位置エネルギー利用型（浸漬膜利用）	29
(1) 豊岡市上下水道部 佐野浄水場	29
(2) 奄美市上下水道部 平田浄水場	32
(3) 春日那珂川水道企業団 東隈浄水場	34
(4) 中国 望都県地表水場	36
3.3 場内位置エネルギー利用型（ケーシング収納膜利用）	38
(1) 羽村市浄水場	38
(2) 洞爺湖町 月浦浄水場	42
(3) 会津若松市水道部 滝沢浄水場	44
3.4 調査結果のまとめ	47
4. 膜ろ過のメリットを活かした浄水場の設計	48
4.1 膜処理の動力費を低減するための設計上の工夫	48
4.2 残水圧と膜処理の利用の手引き	50
4.3 水位差利用を促進するためにこれから取り組むべき事項	51
5. 参考資料	52
5.1 水位差ろ過採用浄水場 普及状況	52

1. 膜ろ過浄水施設の現状

1.1 普及状況

膜ろ過浄水処理の特徴は、除去対象物質が圧力のみで水と分離できることにある。MF 膜や UF 膜であれば、除去対象物質は砂やシルト、病原微生物といった懸濁物質が中心となる。砂ろ過よりも懸濁物質の分離精度が高く安全な水が供給でき、かつ単純な運転操作のため自動化や省人化が容易となる。山間部の水道事業体では、分散した浄水施設が点在していることが多いが、これらの水道事業体は技術職員数が少なく、自動運転が特に望まれていると思われる。これらのことから、山間部の沢水を水源とした小規模水道から、膜ろ過浄水施設の普及が進んでいった。

水道技術研究センターの水道用膜ろ過装置関連企業調査¹⁾では、MF 膜及び UF 膜を用いた膜ろ過浄水場は平成 30 年度末現在で 912 施設、総施設能力は 1,862 千 m³/日に上り（ただし、計画中を含む）、平成 4 年の調査開始以降、増加傾向を示している。

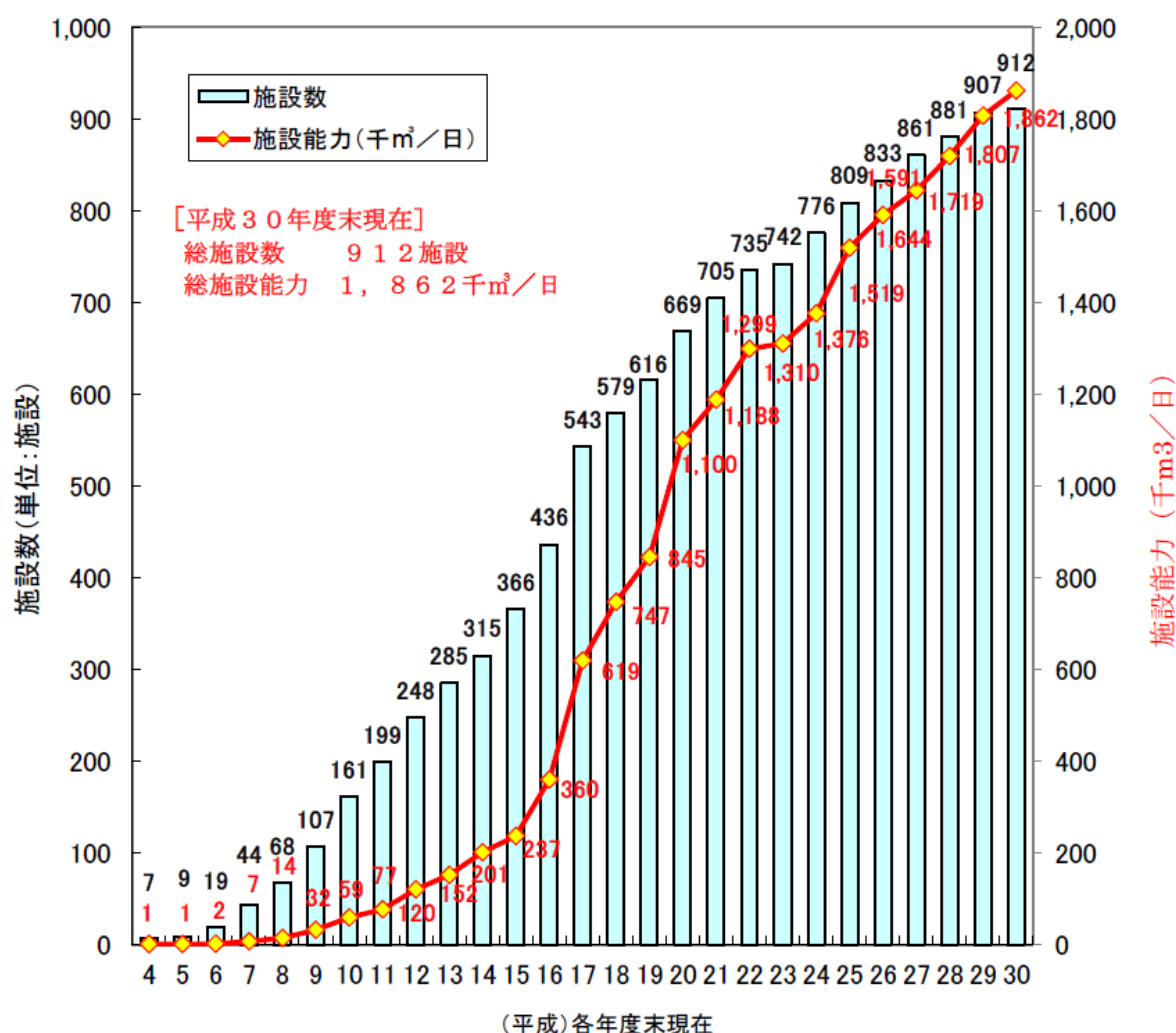


図1 膜ろ過浄水施設(MF膜及びUF膜)の導入状況(累積)
(建設予定及び建設中のものを含む。)

JWRC

図1 膜ろ過浄水施設(MF膜・UF膜)の導入状況(累計)
(建設予定、及び建設中のものを含む。)

年間浄水量は、節水や人口減少の影響もあり低下しているが、全浄水量における膜ろ過方式の年間浄水量の割合については、図 1-2 の通り、増加の方向で推移している。平成 26 年 4 月には横浜市川井浄水場が運用を開始したが、水道統計では平成 27 年度の浄水量で膜ろ過方式に反映されている。平成 27 年度には川井浄水場の年間浄水量として 60,162 千 m³ 増加したことにより、平成 27 年度に上水道事業・用水供給事業における膜ろ過の年間浄水量の割合が 2%を超え、平成 28 年度にはその割合が 2.2%となった。なお、簡易水道事業の膜ろ過割合が平成 28 年度 7.8%から平成 29 年度 6.9%に大きく減少したのは、簡易水道事業の上水道事業への統合が進み、簡易水道事業の年間浄水量が減少したことと関係し、簡易水道事業への膜ろ過の普及が妨げられているものではないと考えられる。

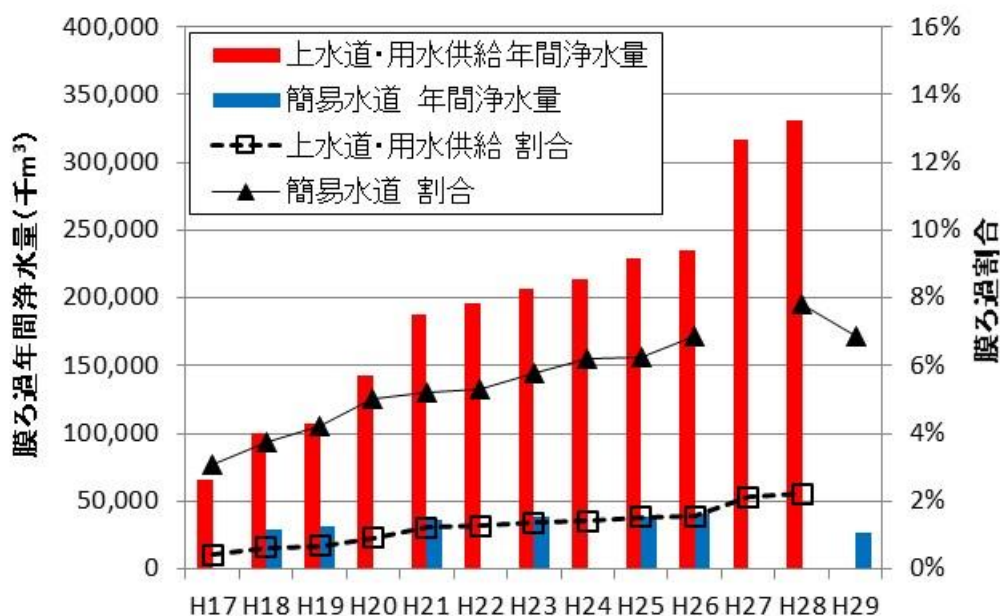


図 1-2 年間浄水量に占める膜ろ過の割合 ^{2) 3)}

1.2 小規模アンケート・ヒアリング調査

一方で、中小規模の水道事業は財政が厳しいと指摘⁴⁾されており、経費の削減は喫緊の課題である。施設能力 1,500 m³/日以下の小規模膜ろ過浄水施設を有する水道事業体に対して平成 27 年 7 月にアンケート調査を実施した結果、ほとんどの水道事業体が維持管理費は高価であると考えていることが判明した⁵⁾。このことが膜ろ過の普及を妨げる一因となっている可能性が高い。

図 1-3 に施設能力 100 m³/日から 1,500 m³/日で膜モジュールを交換した経験がある浄水場における維持管理費の内訳を示す。維持管理費の内訳としては、膜モジュールの交換費や薬品洗浄費、機器点検費、動力費、人件費等が挙げられるが、実績浄水量あたりに占める作業単価は、膜交換費について、動力費が高価であることがわかる。

また、クロスフローろ過方式の UF 膜ろ過浄水場に係る動力費を整理した結果、動力費は、浄水量 1 m³当たり平均 23.2 円と回答を得ており（ただし、送水ポンプを含んだ動力を提示した浄水場もある）、簡易水道事業における 10 m³当たりの使用料の全国平均値 1,340 円⁶⁾（1 m³当たり 134 円）のかなりの割合を占めていることになる。

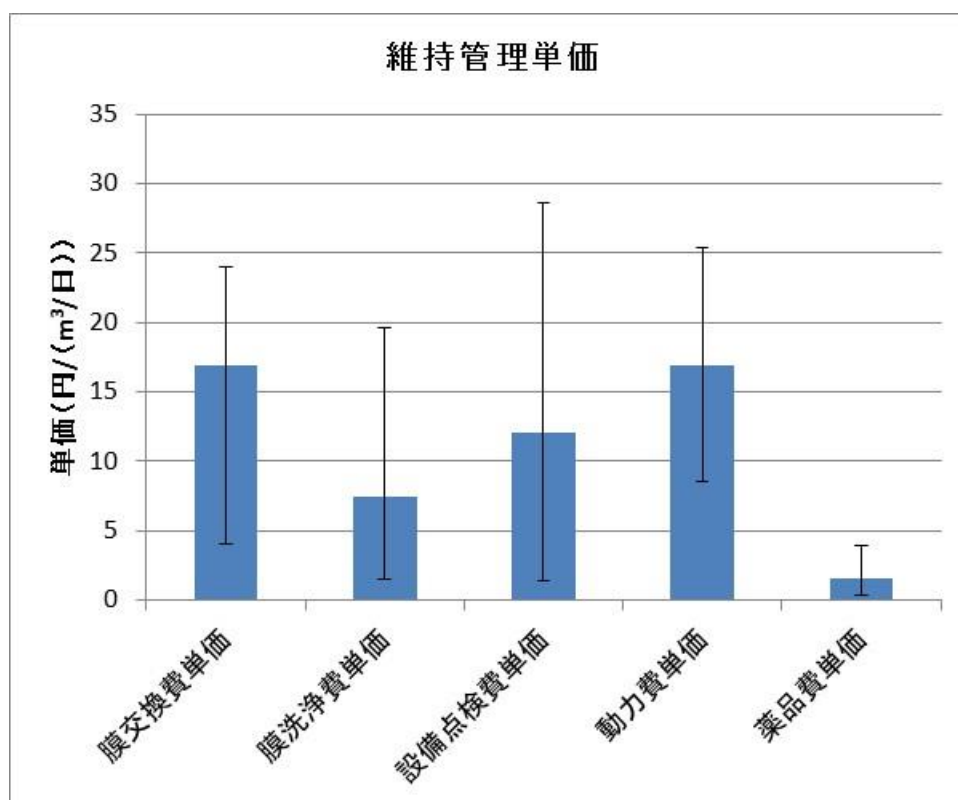


図 1-3 施設能力 100 m³/日から 1,500 m³/日の浄水場における維持管理費の内訳

1.3 膜ろ過の動力費が高いと判断される理由

膜ろ過の動力費が高いと判断されるのは「何かと比べて高い」からである。そこで、膜ろ過の導入が検討されるケースにおいて、何とくらべて高いのか、比較対象となる処理法について考えると、大きく以下の3つのパターンが想定される。

- 1) 消毒のみから膜ろ過施設の導入が検討される場合。主にクリプトスポリジウム等の病原性原虫対策と位置づけられる場合に、紫外線処理との比較が行われる事が多い。
- 2) 緩速ろ過、急速ろ過等の従来型の処理方法を採用していた浄水場が膜ろ過への更新を検討する場合。従来法との比較が行われる。
- 3) 新規の浄水場として整備される場合。実績の運転データがないため、選定時に各種資料等の紙上データにより他の処理方法との比較が行われる。

これらそれぞれについて、なぜ膜ろ過が高いと判断されるのかを考察すると、次のような点が指摘できる。

1) 消毒のみから膜ろ過施設の導入が検討される場合

消毒のみの処理から膜ろ過に転換する場合では、もともとは動力費が不要であったため、これが大幅に上昇することは避けがたい。特に、クリプトスポリジウム対策以外にほとんど処理の必要がないような水源の場合、紫外線処理の方が動力費を小さくできる。ただし、紫外線処理はクリプトスポリジウム等耐塩素性病原微生物以外の浄水処理上の効果をもたないため、このようなケースを一般的なものとして膜ろ過の動力費がかさむと評価するのは不適切である。

2) 従来型の処理法を採用していた浄水場が膜ろ過に切り替わる場合

既設の着水井を利用して、従来型の水処理フローと比較するのが一般的であると考えられる。そのため、膜ろ過に変更する場合、加圧用のポンプが必要になる。しかし、本ガイドラインでも複数の事例を紹介しているとおり、着水井までの残存水圧を着水井で開放しても水圧メリットを活かせる。ただし、残存水圧の有効利用効果はあまり大きくない。よって、残存水圧を水質向上に転換できる膜ろ過のメリットを活かさない比較となってしまう。

3) 新規の浄水場として整備される場合

新規の浄水場整備の場合は膜ろ過以外の処理法との比較となる。このような場合には、建設費等とともに動力費の検討が行われるが、この際には、実証実験を行うような一部の大規模な事業の場合を除いて、前例やマニュアル等の情報が参照される。

しかし、一般的な資料では、平均的なケースの動力費が掲載されている。水圧の有効利用を想定するようなケースは稀である。

このように、緩速ろ過や急速ろ過では、着水井以降は水位差で処理することが多く、一方膜ろ過では、膜を通過させるためのポンプ動力の追加が必要となり、浄水動力を押し上げる結果となっていた。また、膜閉塞を抑制するためのクロスフローろ過や膜洗浄により、さらに動力を要する印象が高かった。つまり、膜ろ過の動力費が高いと判断されるのは、逆に膜ろ過を省エネルギー技術として利用するための「浄水処理における水位差の利用」が十分に考慮されていなかったことが誤解の原因になったものと考えられる。

1.4 水道施設設計指針における膜ろ過施設の検討内容と課題

次に、膜ろ過施設の設計において水位差の有効活用がどのように捉えられているのかを確認する。水道施設における処理方式の選定にあたって最も基本といえる根拠は水道施設設計指針 2012（日本水道協会）（以下、設計指針）である。そこで、設計指針において膜ろ過施設の選定に影響を与えるような記述を確認すると以下のとおりとなる。

1) 膜ろ過採用の理由

設計指針では、以下のような項目を提示している。

- (1) 膜の特性に応じて原水中の懸濁物質、コロイド、細菌類、クリプトスポリジウム等の一定以上の大きさの不純物を除去することができる。
- (2) 定期点検や膜の薬品洗浄、膜の交換等が必要であるが、自動運転が容易であり、他の処理に比べて日常的な運転及び維持管理における省力化を図ることができる。
- (3) 凝集剤が不要又は使用量が少なく済む。
- (4) 他の処理法に比べて施設規模が小さいため施設面積が小さくてすみ、施設の建設工期も短くなる。
- (5) 大規模であっても施設全体を一つの建屋内に設置することが多いため、入退場の制限やカメラによる遠方監視が容易となり、リスク対策（テロ対策）の面では従来の方法より安定性が向上する。

これらの注意点の総括として、膜ろ過技術は、懸濁質以外の溶解性物質があまりない原水に向いており、特に小規模な水道でこのような原水を持つ水道が多い、と締めくくられている。つまり、水質面の特性、維持管理上の特性、敷地面積の特性、の3点が選定理由となることが示されている。それらと並んで重要な水位差の利用については触れられていない。

なお、現在では、100,000 m³/日を超える大規模、又は汚濁の進んだ水源においても膜ろ過を前処理や後処理と組み合わせた浄水施設も建設されていることについても記しておかなければならない。

2) 膜ろ過施設の設計上の考慮事項

次に、膜ろ過施設を設計する上で考慮すべき事項としては以下の5項目が提示されている。

- (1) 各種の前処理設備の設置
- (2) 2系列以上の確保
- (3) 事故時を見越した施設能力
- (4) 水位差を利用する場合の施設配置
- (5) 十分な安全・環境対策

このうち、「(4) 水位差を利用する場合の施設配置」については、水位差利用のメリットを想起させる項目であるが、内容を確認すると、「水位差を用いて膜ろ過を行う場合」に原

水槽から膜ろ過設備、膜ろ過設備から浄水池までの水位差が膜ろ過に必要な膜差圧を適宜確保すべき、と、浄水場の場内配置を想定して、特記するまでもない内容を記述しているにとどまっている。

3) 考察

このように、設計指針においては、水位差を利用して膜ろ過を行うメリットについて基本的には言及されていない。これは、他の従来型の処理方式にはない独特なメリットであるためと考えられる。

しかし、水位差の有効利用は膜のもつ大きな長所である。これを引き出すことで、省エネルギーを目的とした膜の使い方も見えてくる。今後は、このメリットをよく訴求していくとともに、設計指針にも示されるべき内容であろうと思われる。

1.5 膜導入における省エネの位置づけ

維持管理費の大きな割合を占める動力費を削減するには、水源と浄水場との水位差、浄水場内池の水位差を見出すことで、モジュール形式に依らず水位差ろ過を適用できそうである。近年、水位差を利用した膜ろ過施設が稼働を開始し、実績を増やしつつある。膜やファウリングによる圧力損失をポンプエネルギーで補うのが一般的な膜ろ過浄水システムである。膜ろ過導入の黎明期では、すでに産業用に使用されていたクロスフロー型膜ろ過設備が一般的であった。クロスフローろ過方式ではクロスフロー流で膜面堆積物を除去しながら運転することで安定運転を可能にしていた。しかしながら循環流を生み出すための循環ポンプが必要であり、高い消費動力を必要としていた。その後、膜性能の向上や逆洗方法などシステムの改良により、消費電力が少ない全量ろ過方式による膜ろ過方式が可能となり、主流となってきた。水道技術研究センターの資料⁷⁾では、膜ろ過浄水に係る消費電力量を定式化しているが、その結果、クロスフローろ過方式の消費電力量は、全量ろ過方式の3倍の値となることが示されている。水質によっては必ずしもクロスフローろ過である必要はないと考えられ、既設浄水場においても省エネルギー化を図る方策を提示できると考えられる。

また、水道技術研究センターの資料では、膜ろ過方式の電力使用量は、急速ろ過方式より若干電力を多く使用する傾向があるとしている⁸⁾。

膜ろ過の前工程で圧力解放せず、導水工程のエネルギーを有効に利用すれば、前述の通り膜ろ過浄水に係る動力を削減できるだけでなく、浄水池や配水池の水位を上げることも場合によっては可能であり、水道システム全体の省エネルギー化も可能になる。これは重力ろ過方式を採用した砂ろ過システムにはない特徴である。

ただし、以下に示す制約条件を満たさなければならない。これらは、膜ろ過流束や膜間差圧、回収率、モジュール形式の選定等に影響を与えると予想される。

- ・ 設置スペースの制約（狭隘、既設躯体利用）
- ・ 原水水質の対応（高濁度等）

<参考文献>

- 1) 水道技術研究センター、『JWRC 水道ホットニュース 667 号』（2019 年）
- 2) 日本水道協会、『水道統計』（各年度版）
- 3) 全国簡易水道協議会、『全国簡易水道統計』（各年度版）
- 4) 厚生労働省健康局、『新水道ビジョン』、P.6（2013）
- 5) 鮫島 正一、『小規模水道における膜ろ過浄水場のメリット及び今後の方向性に関する一考察』、第 18 回水環境学会シンポジウム講演集、P.5（2015）
- 6) 全国簡易水道協議会、『平成 25 年度全国簡易水道統計』、p.7（2015）
- 7) 公益財団法人水道技術研究センター、『膜ろ過施設導入ガイドライン技術資料』、P.195（2015）
- 8) 公益財団法人水道技術研究センター、『膜ろ過施設導入ガイドライン技術資料』、P.197（2015）

2. 膜による水位差ろ過方法の概念

既存の大多数の浄水施設は、水位や水量の変動を安定させる目的で着水井が設けられており、この着水井の水位を基準として設計されている。重力式の急速ろ過の浄水場であれば、攪拌池や凝集池の迂流構造、配管やバルブ、砂による損失水頭等を勘案する。膜ろ過の場合も同様、膜間差圧や各種配管等による損失水頭を考慮すれば、水位差で膜ろ過することは可能である。

日本の国土の特徴から、導水から浄水、配水に至る水道プロセスには、必ずといっていい程水位差が存在する。水道施設設計指針の基本計画では、省エネルギーの具体的な取り組み方法として、自然流下方式による導・送・配水に触れている。設計の基本事項でも施設間の高低差等の地勢を効率的に利用する配慮が必要としているが、具体的な利用方法に関する指針は記載されていない。そこで、我々は、導入済みまたは計画中の水位差利用膜ろ過浄水施設を実地調査し、具体的な数値を提示した知見をまとめた。

前述の着水井では自由水面となるため、水源からの位置エネルギーは解放されてしまう。逆に自由水面を設けなければ、取水口の標高が浄水場より高く、取水口と膜ろ過設備の設置場所との水位差を有効活用して膜ろ過することが可能となる。このようなろ過方法を『水源位置エネルギー利用型』と定義する。この場合、数 10 m 規模の比較的大きな水位差を確保することが可能な場合もある。本法では、薬品注入や混和、フロック形成等、膜の前処理工程でも圧力を解放しない要件があることに留意すべきである。

一方で、浄水場の敷地内においても、数 m 程度の水位差はあり、これを活用することが可能もある。これは二つの方法に大別できる。一つは、膜モジュールを浸漬させる池とろ過した水を溜める池との水位差を利用してサイフォンろ過する形式を『場内位置エネルギー利用型（浸漬膜利用）』、もう一つは、膜モジュールをケースに収納し、膜モジュール一次側の池と膜モジュール二次側の池との水位差でろ過する形式を『場内位置エネルギー利用型（ケーシング収納膜利用）』と定義する。浸漬膜として利用可能な膜モジュールを水槽に設置し、水槽内を満水にしてろ過する方式も『場内位置エネルギー利用型（ケーシング収納膜利用）』に含める。

表 2-1 水位差利用膜ろ過の概念の整理

項目	水源位置エネルギー利用型	場内位置エネルギー利用型 (浸漬膜利用)	場内位置エネルギー利用型 (ケーシング収納膜利用)
浄水場例	川井浄水場「セラロック」 (横浜市水道局)	佐野浄水場 (豊岡市上下水道部)	羽村市浄水場 (羽村市上下水道部)
水位差 (膜差圧)	11.5 m (10~80 kPa)	2.3 m (~10 kPa)	3 m (1~2 kPa)

3. 事例紹介

水位差を利用して膜ろ過する浄水設備について情報収集すると共に、実地調査も実施した。調査結果は、以下の項目を中心に整理した。また、理解を助けるため、通常のポンプ動力利用の膜ろ過設備との違いを示す概念図を添付した。

- ①施設概要
- ②所要動力
- ③原水水質
- ④水位差・膜ろ過流束・膜間差圧
- ⑤前処理方法
- ⑥回収率
- ⑦薬品洗浄に関する事項
- ⑧その他特記事項

3.1 水源位置エネルギー利用型

(1) 横浜市水道局川井浄水場（セラロッカ）（調査日：2015 年 6 月 1 日）

①施設概要

ケーシング収納型セラミック膜の水位差ろ過の例を示す。上流の接合井との水位差 35m の内、配管での摩擦損失等を引いた 11.5 m を利用してポンプレスで膜ろ過を運転することで膜ろ過に要する動力をポンプ方式に比べ大幅に削減した。また膜ろ過工程を密閉化することで配水池水位を高く建設することが可能となり、自然流下が可能な川井浄水場の浄水量を 106,400 m³/日から 172,800 m³/日に増加したと併せて、配水区域を大幅に広げることが可能となり、市全体としても配水に要する動力を大幅に削減できた。

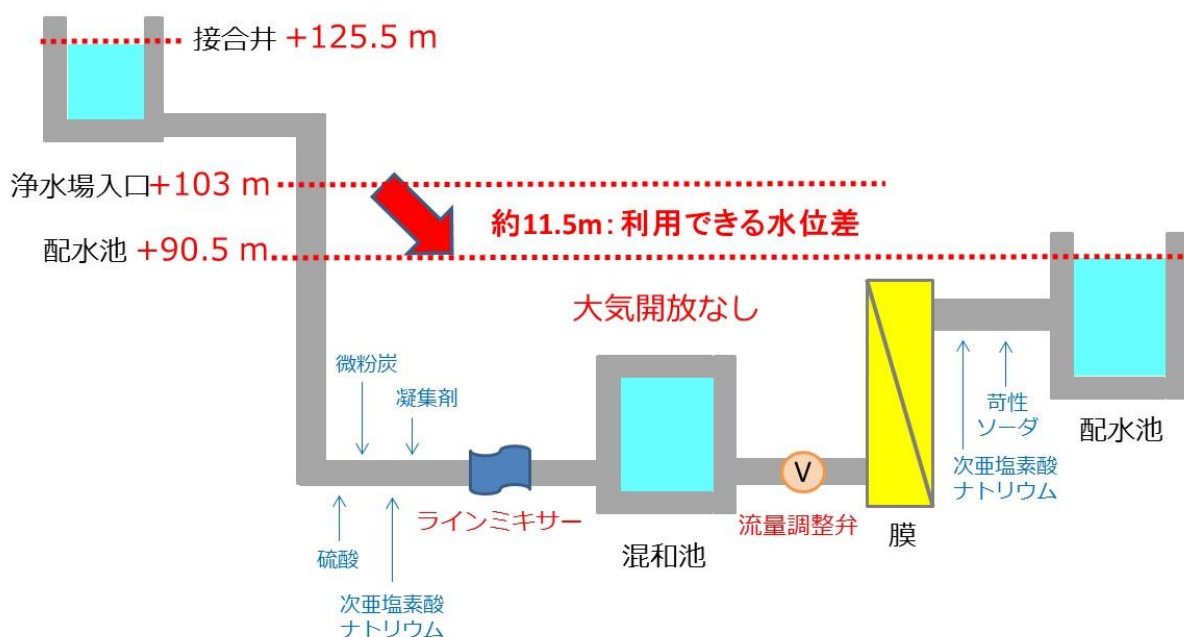


図 3-1 横浜市川井浄水場（セラロッカ） 水位差ろ過概念図

②所要動力

平成 26 年度実績は、表 3-1 の通り。

表 3-1 所要動力及び薬品費の比較

項目	急速ろ過方式	膜ろ過方式	削減率
原水 1 m ³ あたりの電力使用量	0.040 kWh	0.024 kWh	40%
原水 1 m ³ あたりの凝集剤使用量	0.0255 L	0.0164 L	36%

③原水水質

上流にある沈澱池（普通沈澱）で上限濁度 30 度に制御。通常は無薬注で 1～2 度程度で浄水場に流入。

④膜ろ過流束・膜間差圧

膜ろ過流束は、 $3.6 \sim 4.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ （通常時は $3.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ ）。膜間差圧は、薬品洗浄直後 8 kPa、1 バッチで 15 kPa 程度増加。薬品洗浄前は 60 kPa 強まで増加。

⑤前処理方法

PAC はスタティックミキサと混合槽で攪拌し、動力は使用せず。粉末活性炭（市販炭）は、注入が必要な時に上流注入設備にて水道局側で注入、浄水場（事業者）では微粉炭注入。

⑥回収率

99%以上。

⑦薬品洗浄に関する事項

年 2 回を目安。TMP は 80 kPa を上限。

⑧その他特記事項

脱水機の運転で電力原単位が変わる。

【膜ろ過棟】

構造	鉄筋コンクリート 地上 2 階建
延べ床面積	7457.457 m^2

【処理能力/仕様】

浄水量	172,800 $\text{m}^3/\text{日}$
系列数	1,000 本/系列×24 系列
膜ろ過流束	$3.6 \sim 4.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$

【膜エレメント仕様】

膜種	精密ろ過膜(MF 膜)
膜素材	セラミック
公称孔径	0.1 μm
膜面積	24 $\text{m}^2/\text{エレメント}$
膜ユニット	ケーシング収納方式
ろ過方式	内圧全量ろ過

【施設写真】



膜ろ過棟



膜モジュール

(2) 福岡県大牟田市・熊本県荒尾市 ありあけ浄水場

①施設概要

河川表流水のケーシング収納型セラミック膜による水位差ろ過システムの例。上流の分水場との水位差 37m を利用して膜ろ過を実施。

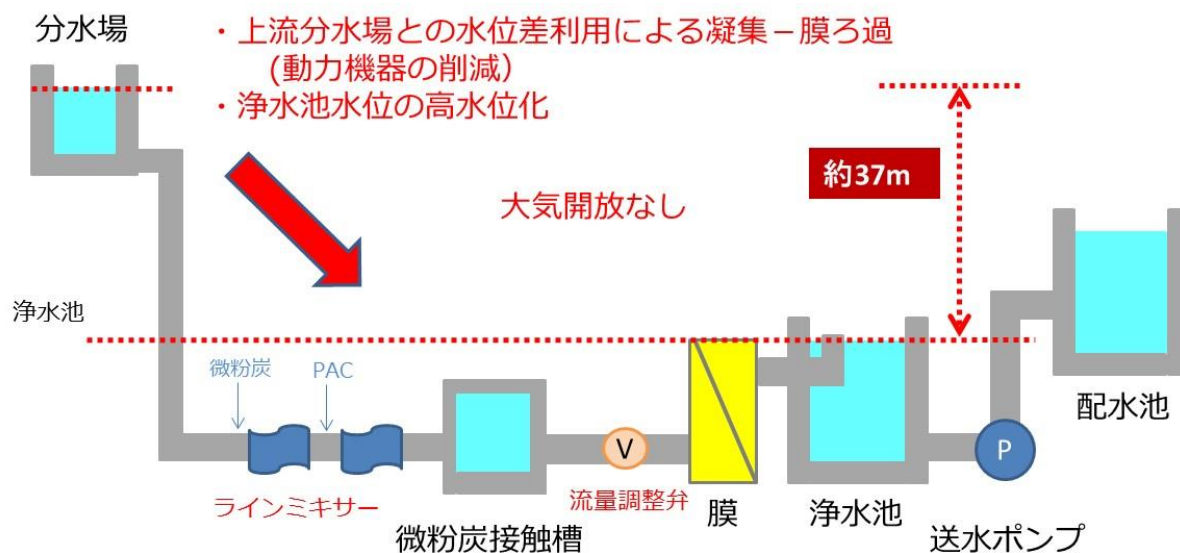


図 3-2 ありあけ浄水場 水位差ろ過概念図

②所要動力

ポンプ方式の膜ろ過に比べポンプや攪拌機などの動力費を 60%削減。

③原水水質

河川表流水を水源としている。菊池川を原水とし、上流にある上の原浄水場にて工業用水向けの凝集沈殿処理された水が金山分水場を経由してありあけ浄水場に送水される。これを原水とし、インラインにて酸剤、微粉末活性炭、凝集剤が注入され、水位差にて膜ろ過される。

④膜ろ過流束・膜間差圧

計画膜ろ過流束 $2.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ 。

⑤前処理方法

原水→（工業用水）→微粉末活性炭→PAC→微粉炭接触槽→膜ろ過。

色度、臭気物質除去用に常時、微粉末活性炭を注入している。

⑥回収率

99.9%。

⑦薬品洗浄に関する事項

年 1 回程度実施。1 系列を 3 日間かけて洗浄する。薬液の pH を 1.3 以下になるよう希硫酸

にて酸洗浄、次いで有効塩素濃度 3,000 mg/L の次亜塩素酸ナトリウムにて洗浄。

⑧その他特記事項

微粉末活性炭の適用により、活性炭の使用量を 1/3～1/5 に削減。

【膜ろ過棟】

構造	鉄筋コンクリート 地上1階、地下1階建
面積	2,009 m ²
延べ床面積	2,703.5 m ²

【処理能力/仕様】

浄水量	26,100 m ³ /日
系列数	120 本/系列×4 系列
総膜面積	11,520 m ²
膜ろ過流束	2.5～3.1 m ³ /(m ² ・日)

【膜エレメント仕様】

膜種	精密ろ過膜(MF 膜)
膜素材	セラミック
公称孔径	0.1 μm
膜面積	24 m ² /エレメント
膜ユニット	ケーシング収納方式
ろ過方式	内圧全量ろ過

【施設写真】



浄水場建屋



膜モジュール



粉末活性炭（微粉炭）接触槽

(3) 東京都水道局 ひむら浄水所（調査日：2016 年 10 月 3 日）

①施設概要

河川表流水のケーシング収納型セラミック膜による水位差ろ過システムの例。沈砂池との水位差 93 m を利用して膜ろ過を実施。小水力発電によるエネルギー回収も実施している。

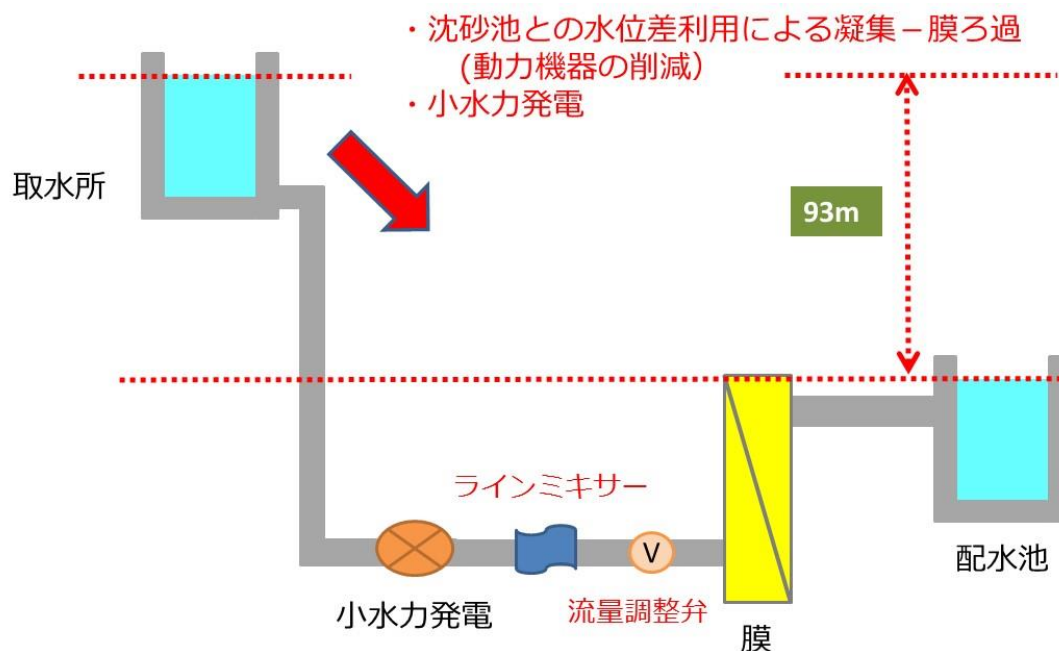


図 3-3 ひむら浄水所 水位差ろ過概念図

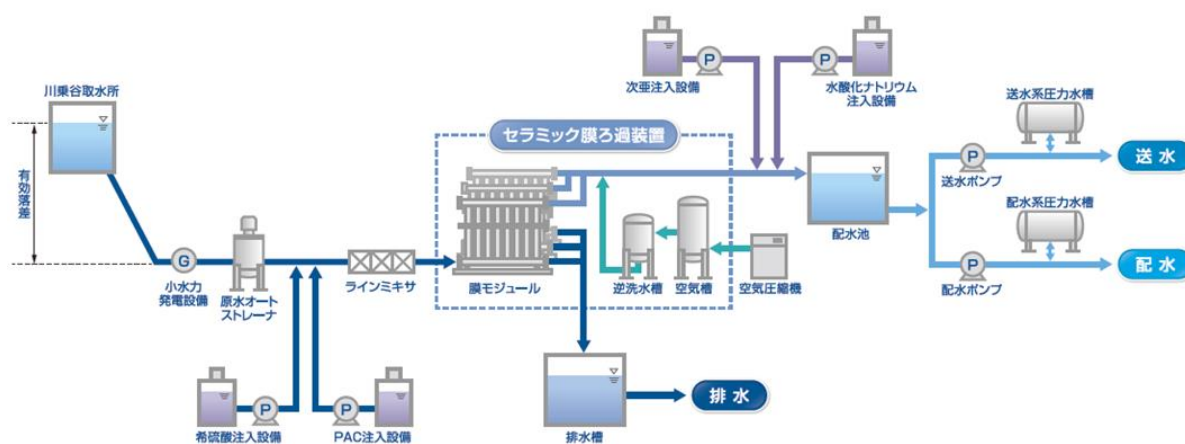


図 3-4 ひむら浄水所 フロー図

②所要動力

約 0.3 kWh/m³。

③原水水質

河川表流水を水源としている。川乗谷取水所での取水が 85%（川幅 10 m 程度）を占め、残りの 15%を 2 箇所の沢水を取水している。自然流下で導水され、距離は約 8.5 km。原水濁度

50 度でピークカットしている。1 時間ほど経過するとファーストフラッシュの水質の悪い水がなくなり、50 度以上でもろ過が可能となる。

④膜ろ過流束・膜間差圧

計画膜ろ過流束 $1.6 \sim 2.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ 。急速ろ過方式の氷川浄水所が運用中のため、現状では全開運転ではなかった。氷川浄水所を 4 年後に閉止し、ひむら浄水所を全開運転する予定である。

⑤前処理方法

原水→小水力発電→凝集混和→膜ろ過

沈砂池との水位差 93m を活用し、小水力発電 (3.5 kW×2 台) によりエネルギー回収を実施。インラインでの凝集混和後、膜ろ過される。

⑥回収率

約 90%。

⑦薬品洗浄に関する事項

仮設タンクを設置し、オンサイトオンライン方式。見学会当日、硫酸による薬品洗浄を実施中であった。その他次亜でも洗浄する。

⑧その他特記事項

小水力発電で得た電力は全量売電している。

【膜エレメント仕様】

膜種	精密ろ過膜 (MF 膜)
膜素材	セラミック
公称孔径	$0.1 \mu\text{m}$
膜面積	$24 \text{ m}^2/\text{エレメント}$
膜ユニット	ケーシング収納方式
ろ過方式	内圧全量ろ過

【施設写真】



膜モジュール



小水力発電設備

(4) 東京都水道局 小河内浄水所（調査日：2016 年 10 月 3 日）

①施設概要

河川表流水のケーシング収納型セラミック膜による水位差ろ過システムの例。沈砂池との水位差 21 m を利用して膜ろ過、GAC、セラミックストレーナによる処理を実施。

緩速ろ過方式の旧浄水所の敷地内に浄水施設を整備するが、既設用地が狭いため、仮設用地を借用し仮設設備で運転開始。既設ろ過池を撤去後、膜ろ過棟を建設し、仮設で使用した浄水設備を順次移設し、順次稼働予定。

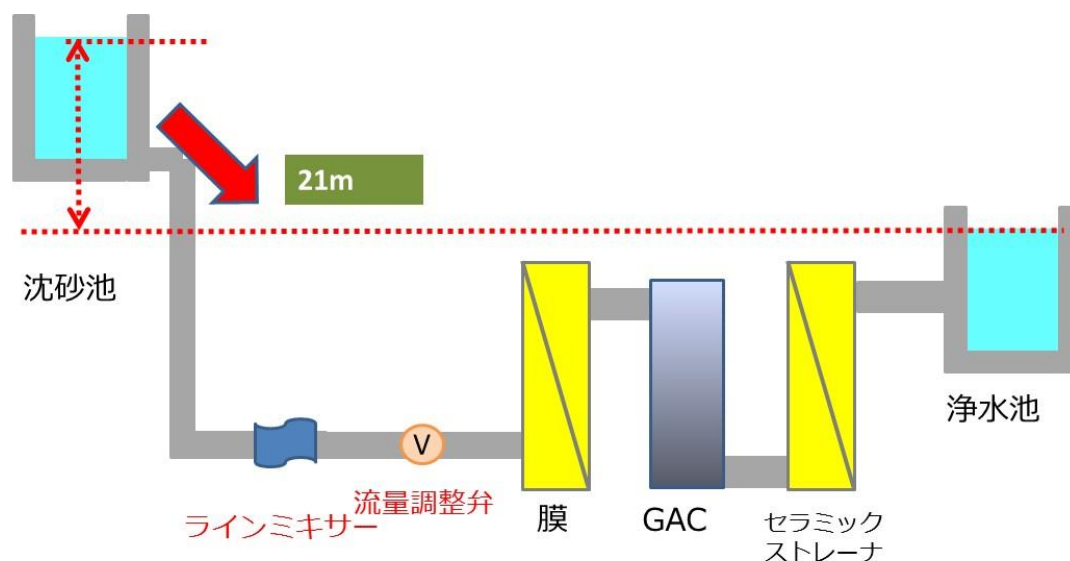


図 3-5 小河内浄水所 水位差ろ過概念図

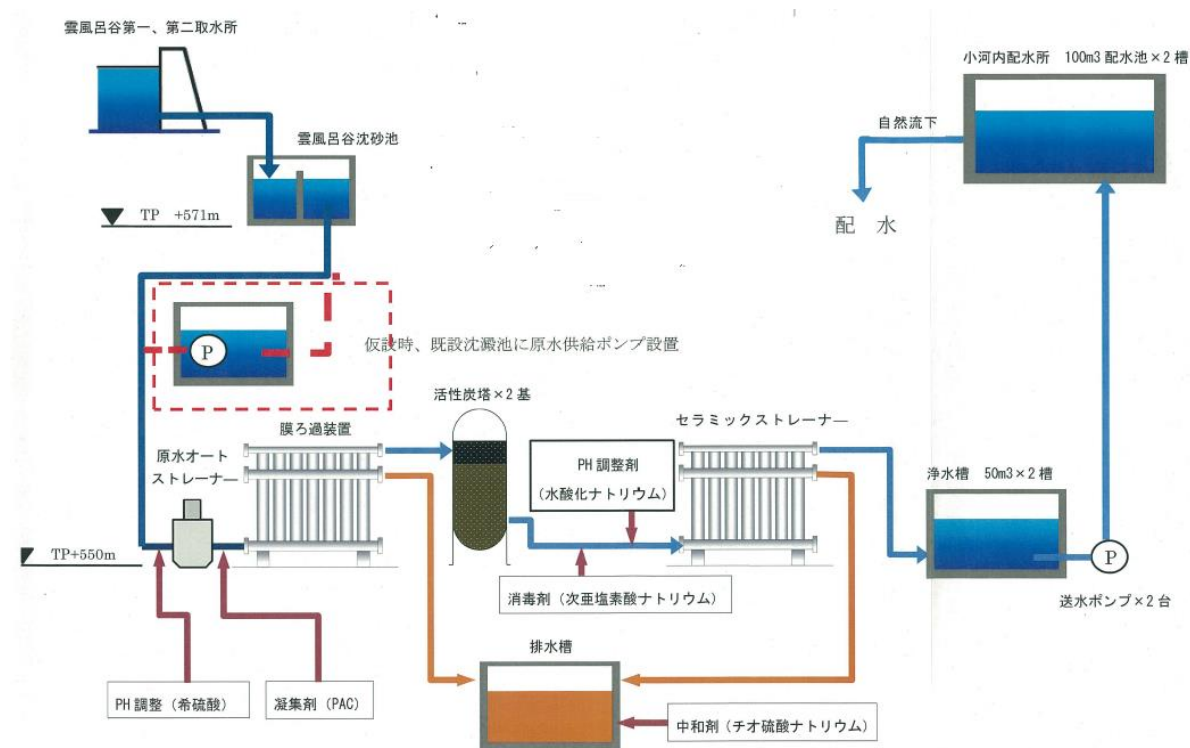


図 3-6 小河内浄水所 フロー図

②所要動力

仮設実績で約 1.2 kWh/m³、計画 3.8 kWh/m³。

仮設時は、既設沈澱池に水中ポンプを設置し、後段の活性炭及びセラミックストレーナと併せてポンプでろ過。本設では、沈砂池との水位差 21m を活用し、ろ過する。

③原水水質

河川表流水。雲風呂谷第一、第二取水所から雲風呂沈砂池を経由して浄水所に導水される。
平均濁度は 1.6 度程度。色度が平均で 14.4 度含まれ、最大では 160 度に達する。

④膜ろ過流束・膜間差圧

計面膜ろ過流束 1.5～2.3 m³/(m²・日)。

⑤前処理、後処理方法

原水→凝集混和→膜ろ過→粒状活性炭→セラミックストレーナ

取水所との水位差 21m を活用し、インラインでの凝集混和後、膜ろ過される。

色度除去用に粒状活性炭に通水され、セラミックストレーナで最終ろ過される。

全て水位差を利用し、ポンプは使用されていない。

⑥回収率

90.3% (仮設実績)。計画では約 70%。

⑦薬品洗浄に関する事項

年 1 回程度を計画。硫酸、次亜で洗浄する。

⑧その他特記事項

緩速ろ過の頃は、原水濁度 5 度、色度 15 度でピークカットしていたが、膜ろ過ではピークカットはしていない。

逆洗時に次亜添加洗浄。前次亜はなし。

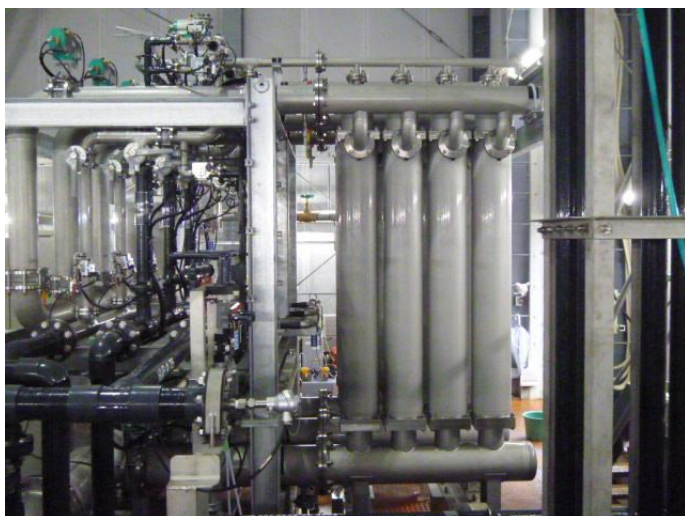
【処理能力/仕様】

浄水量	440 m ³ /日	
膜種	精密ろ過膜(MF 膜)	セラミックストレーナ
系列数	4 本/系列×3 系列	2 本/系列×3 系列
総膜面積	288 m ²	108 m ²
膜ろ過流束	1.5～2.3 m ³ /(m ² ・日)	3.9～5.8 m ³ /(m ² ・日)

【膜エレメント仕様】

膜種	精密ろ過膜(MF 膜)	セラミックストレーナ
膜素材	セラミック	
公称孔径	0.1 μm	1 μm
膜面積	24 m^2 /エレメント	18 m^2 /エレメント
膜ユニット	ケーシング収納方式	
ろ過方式	内圧全量ろ過	

【施設写真】



膜モジュール



セラミックストレーナ



粒状活性炭吸着塔

(5) 由利本荘市ガス水道局 ボツメキ浄水場

①施設概要

秋田県由利本荘市ボツメキ浄水場は、取水源と浄水場の高低差を利用し、ケーシング収納型有機膜により水位差ろ過を行っている。2016 年 4 月より膜ろ過水の配水を開始しており、計画浄水量は 1,310 m³/日である。原水は湧水であり、取水地点にある接合井と浄水場の水位差約 70 m を利用してポンプレスで膜ろ過を運転している。

浄水場の建設地にはもともと塩素消毒設備と配水池が設置されており、塩素消毒のみで配水されていた。配水池の隣接地に膜ろ過浄水設備を建設し、膜ろ過水を配水池に直接流入させるようになっている。そのため、動力設備は少なく、ストレーナ、制御用空気源設備、浄水サンプリング設備、逆洗ポンプ、薬品注入設備といったものがある。

概略フローは図 3-7 の通りである。

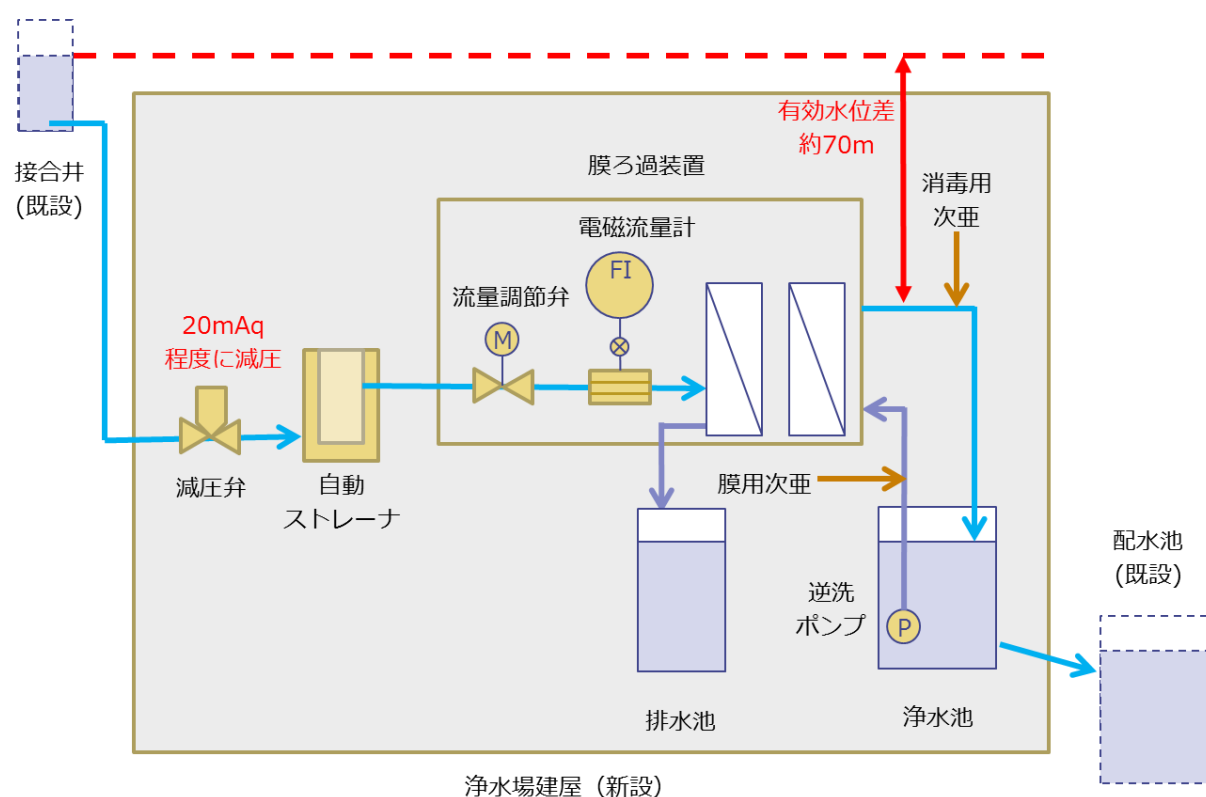


図 3-7 秋田県由利本荘市ボツメキ浄水場 概略フロー図

②所要動力

稼働より 1 年経過していないため（2017 年 1 月現在）、実際の消費電力データはまとまっていない。建屋動力も含めて本施設は低圧受電である。

③原水水質

通常時濁度 0.5 度以下である。

④膜ろ過流束・膜間差圧

膜ろ過流束は、 $2.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ 。膜間差圧は、運転開始時 約 30 kPa 程度（水温 9℃）。

⑤前処理方法

比較的大きな夾雑物を除去するために自動洗浄式ストレーナを設けている。凝集剤は使用していない。

⑥回収率

95%以上。

⑦薬品洗浄に関する事項

オフサイトオフライン方式とし、メーカー工場に持ち帰り洗浄する計画としている。
稼働後 1 年未満のため、未実施である。

⑧その他特記事項

浄水場入口における原水圧は約 700 kPa となっており、減圧弁で約 200 kPa まで減圧した後、膜ろ過設備に供給している。

【膜ろ過棟】

構造	鉄筋コンクリート 地上 1 階地下 1 階
延べ床面積	430.76 m^2

【処理能力/仕様】

浄水量	1,310 $\text{m}^3/\text{日}$
系列数	8 本/系列×2 系列
膜ろ過流束	$2.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$

【膜エレメント仕様】

膜種	限外ろ過膜(UF 膜)
膜素材	ポリエーテルスルホン (PES)
公称孔径	0.01 μm (150,000 Da)
膜面積	40 $\text{m}^2/\text{エレメント}$
膜ユニット	ケーシング収納方式
ろ過方式	内圧式全量ろ過

【施設写真】



ボツメキ浄水場



膜ろ過ユニット

(6) 工場用水向け利用の事例

出光興産株式会社（徳山事業所大浦地区）（調査日：2016年8月3日）

①施設概要

徳山事業所大浦地区の背後に太華山（350 m 高）という山があり、常時、山から水（山水）が流出している。出光興産(株)徳山事業所大浦地区ではその水を軟水化してボイラー用水に利用していた。山水はいったん、貯水池に溜められた後、原水槽に送られる。2005 年、ボイラー用水の水質向上のため、水处理装置を更新した。更新時、原水槽と水处理装置との水位差 20 m を有効利用し、加圧ポンプを用いずに水处理を行うこととなった。当初は原水（山水）→プレフィルタ→軟水装置（陽イオン交換樹脂）→UF 膜→RO 膜→ポリッシャー→ボイラー用水という処理フローであったが、当工場のボイラー用水の管理基準が軟水レベルで十分であり、また、RO 膜を用いると処理水量が不足するというので、現在は RO 膜とポリッシャーは使用していない。ボイラー用水として必要な水の量は 5 m³/hr 前後である。軟水装置の再生と UF 膜の逆洗時に 1 系列ごとに装置は停止するが、1 日あたり 20 時間程度は稼働している。

UF 膜は、ケーシング収納型の酢酸セルロース膜を使用している。

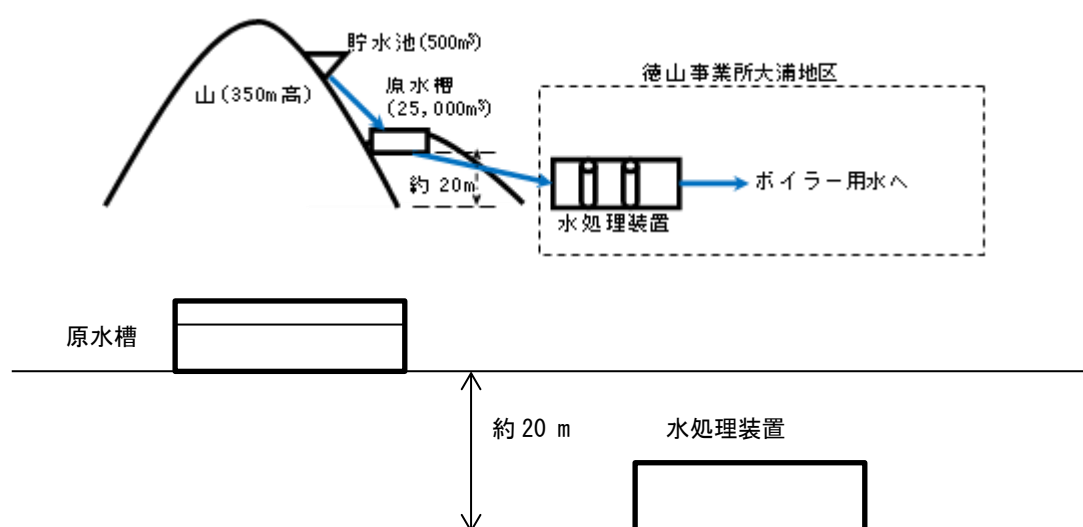


図 3-8 ボイラー給水处理設備 全体工程図

水处理装置のフローを図 3-9 に示す。2 系列になっており、軟水塔は交互に海水で再生される。

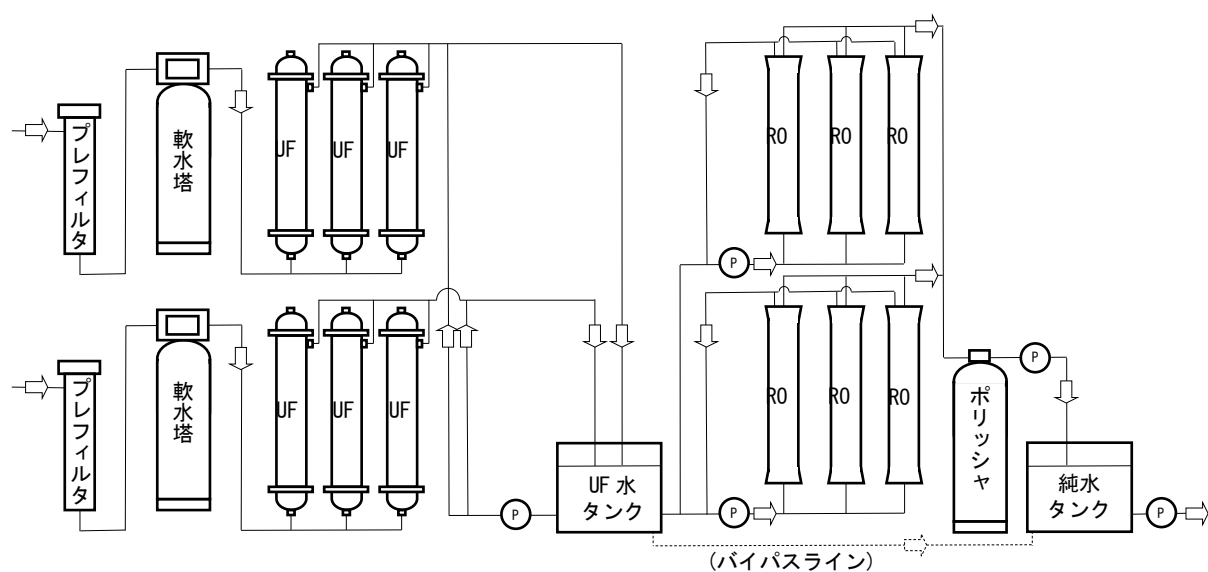


図 3-9 水処理装置のフロー

②所要動力

プレフィルタ、軟水塔、UF モジュールは水位差 20 m を有効利用してろ過及び吸着が行われるため、水処理（ろ過）に必要な所要動力は発生していない。

③原水水質

原水水質を表 3-2 に示す。

表 3-2 原水水質

水質項目	値
pH (25℃)	7.1
電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	81
全鉄 (mg/L)	0.3
Ca (mg/L)	4.0
Mg (mg/L)	1.2
濁度 (カオリン濁度)	2

④水位差・膜ろ過流束・膜間差圧

膜ろ過流束 $1 \sim 1.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ 、膜間差圧 0.02～0.025 MPa。

⑤前処理方法

プレフィルタ ($160 \mu\text{m} \times 750 \text{ mmL} \times 3 \text{ 本}$)。

⑥回収率

UF 膜：不明（RO 膜：66%）。

⑦薬品洗浄に関する事項

2005 年納入後、薬品洗浄は実施していない。ただし、逆洗時には次亜を 3～5 mg/L 程度注入している。

⑧その他特記事項

- ・軟水塔の再生：1 塔あたり 40 時間ごと。
- ・UF モジュールの物理洗浄：ろ過時間 30 分、逆洗時間 1 分、フラッシング 20 秒。

【膜エレメント仕様】

膜種	限外ろ過膜（UF 膜）
膜素材	酢酸セルロース
公称孔径	0.01 μ m
膜面積	16 m ² /モジュール
モジュール本数	3 モジュール/系列
系列数	2
ろ過方式	内圧全量ろ過

- ・原水槽は原油タンクをそのまま流用していることもあり、満水で運用した場合、日浄水量と比較して相当に大きい滞留時間（膜ろ過流束 1.5 m³/(m²・日)で常時ろ過する場合でも 174 日)であるが、水質の劣化は特にないとのこと。

3.2 場内位置エネルギー利用型（浸漬膜利用）

(1) 豊岡市上下水道部 佐野浄水場（調査日：2015 年 9 月 11 日）

①施設概要

平坦地の既存沈澱池躯体を利用した浸漬型 PE 膜の水位差ろ過の例。処理能力 20,000 m³/日（最大 30,000 m³/日）を有する、浸漬型膜浄水技術を採用された浄水場で、その原水を中郷円山川近郊の井戸水地下水（または伏流水）及び場内の地下水である。かなり清浄な原水を用いた事と、低差圧型の膜モジュールを採用した事により、5 年間ろ過ポンプ動力使用する事なく 2.3 m の水位差のみでろ過を継続できている。逆洗に用いる動力は必要だが、浄水工程全体での電力使用量はポンプ使用時の 1/10 以下の使用量と試算されている。

なお、5 年間、薬液洗浄する事なく運転できていることから、薬液洗浄にかかわる労務費、薬品費は発生していない。

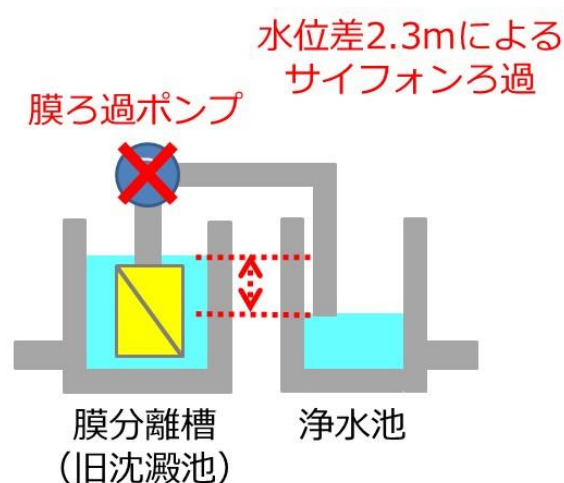


図 3-10 佐野浄水場 水位差ろ過概念図

②所要動力

90%カット（ただし、ポンプを稼働させた場合と比較して）。kWh/m³ 単位の詳細データは未入手であるが、膜ろ過ポンプ動力の有無による動力試算結果を以下に示す。

設備に装着される機器動力をベースとし、1 時間に 1 回の逆洗、曝気を行った場合の試算とした。

【膜ろ過吸引ポンプによりろ過実施のケース】

ろ過ポンプ：18.5 kW×4 台×55 min/60 min×24 h=1,628 kWh/日

逆洗ポンプ：11 kW×4 台×5 min/60 min×24 h= 88 kWh/日

洗浄ブロー：11 kW×4 台×5 min/60 min×24 h= 88 kWh/日

合 計：1,804 kWh/日

【膜ろ過吸引ポンプ動力を使用しないケース】

逆洗ポンプ： 11 kW×4 台×5 min/60 min×24 h＝ 88 kWh/日

洗浄ブロワ： 11 kW×4 台×5 min/60 min×24 h＝ 88 kWh/日

合 計： 176 kWh/日

③原水水質

円山川伏流水を水源とする。膜ろ過への更新時に取水点を上流に移設。見学会当日の原水濁度は 0.02～0.03 度程度であり、通常値（0.01 度）より若干高かった。濁度最大値は 0.8 度である。

表 3-3 佐野浄水場 水源

水源名		水源種別	計画取水量
佐野浄水場	3 号井戸	地下水（深井戸）	3,600 m ³ /日
	4 号井戸	地下水（深井戸）	4,800 m ³ /日
	中郷円山川水源	地下水（伏流水）	22,000 m ³ /日
中郷浄水場		地下水（伏流水）	

④水位差・膜ろ過流束・膜間差圧

膜ろ過流束（m³/（m²・日））：平均 0.3、最大 0.45、薬品洗浄時 0.6 の設定。膜浸漬槽と膜ろ過水槽の水位差 2.3 m を利用し、膜前後で必要な水位差は 1 m 程度で運転している。

⑤前処理方法

PAC は浄水処理工程では使用せず、排水処理工程（繊維ろ過）のみ使用。

⑥回収率

99%。

⑦薬品洗浄に関する事項

6.5 年の運転を通じて膜ユニットの薬品洗浄実績はなく、洗浄薬剤費用も発生していない。差圧上昇時の洗浄として硫酸、次亜塩素酸ナトリウムを使用予定。

⑧その他特記事項

- ・重力ろ過で 6.5 年以上の吸引ポンプ無しでの運転実績。
- ・既設の急速ろ過設備を稼働し給水しながら、改修の実績。
- ・既設沈澱池活用で建設コストの大幅削減。改築による廃棄物発生量の抑制。
- ・設置面積が既設の急速ろ過（1,884 m²）に対し、膜ろ過設備（890 m²）と 47%の縮減。

【処理能力/仕様】

浄水量	20,000 m ³ /日（最大 30,000 m ³ /日）
系列数	20 モジュール/ユニット×6 ユニット/系列×4 系列
総膜面積	65,280 m ²
ろ過流束	平均 0.3 m ³ /(m ² ・日)

【膜エレメント仕様】

膜種	精密ろ過膜（MF 膜）
膜素材	親水化ポリエチレン
公称孔径	0.1 μm
膜面積	136 m ² /モジュール
膜ユニット	槽浸漬方式
ろ過方式	外圧式全量ろ過

(2) 奄美市上下水道部 平田浄水場

①施設概要

局地的集中豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）、台風時の高濁度原水への対応として、浸漬式 PVDF 膜でろ過を行う。

いわゆる膜ろ過のためのポンプは設置せず、1 年を通じて、常時水位差で運転を行う。水位差は 7.3 m である。

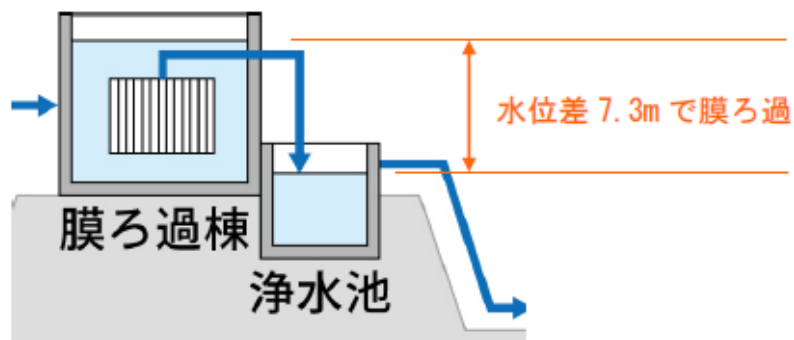


図 3-11 平田浄水場 水位差ろ過概念図

③原水水質

最大濁度 1,000 度

④水位差・膜ろ過流束・膜間差圧

7.3 m（膜と浄水池との水位差）。

⑤前処理方法

除マンガン＋膜ろ過。

⑥回収率

99.3～99.9%（高濁度時含む）。

【処理能力/仕様】

浄水量	12,200 m ³ /日
系列数	6 系列

【膜エレメント仕様】

膜種	精密ろ過膜（MF 膜）
膜素材	PVDF
公称孔径	0.05 μm
膜ユニット	槽浸漬方式
ろ過方式	外圧式全量ろ過

【施設写真】

見学会に行きましたので、膜ろ過に関する写真を何か挿入したいのですが。ご提供いただけないでしょうか。

(3) 春日那珂川水道企業団 東隈浄水場

①施設概要

表流水を原水とする、高濁度原水への対応として、浸漬式 PVDF 膜を用いてろ過を行う。水位差は 3.5 m で、一般的な浄水場の場内で確保可能な極めて低い水位差を利用して、膜ろ過を行うことが最大の特徴である。

また、既存の浄水場を稼働させながらの更新工事であり、工事期間中も既存設備を停止することなく、砂ろ過→膜ろ過への更新を行った。

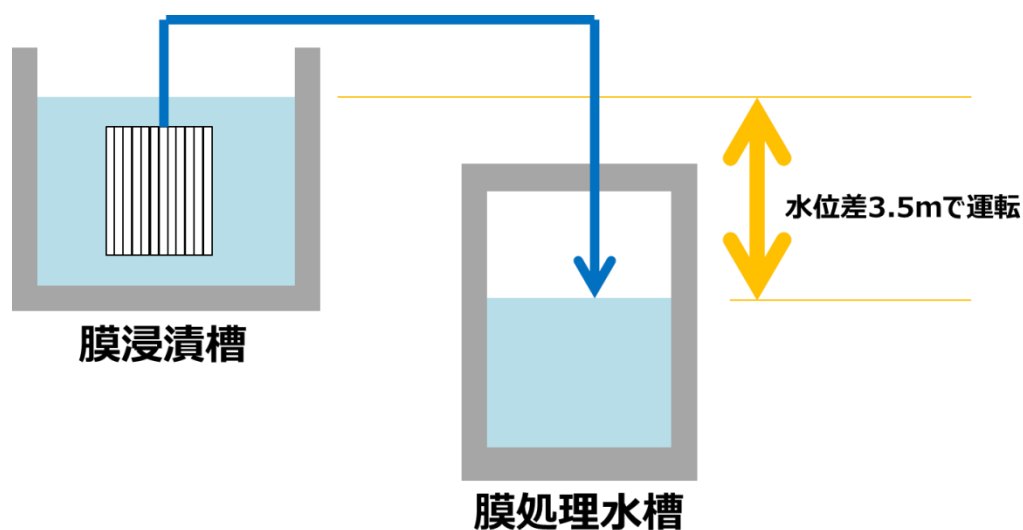


図 3-12 東隈浄水場 水位差ろ過概念図

③原水水質

原水濁度として最大 500 度

④水位差・膜ろ過流束・膜間差圧

3.5 m

⑤前処理方法

粉末活性炭＋除マンガン＋膜ろ過

⑥回収率

99.5%（高濁度時も不変）

【処理能力/仕様】

浄水量	25,000 m ³ /日
系列数	8 系列

【膜エレメント仕様】

膜種	精密ろ過膜（MF 膜）
膜素材	PVDF
公称孔径	0.05 μ m
膜ユニット	槽浸漬方式
ろ過方式	外圧式全量ろ過

【施設写真】



膜浸漬槽内の膜ユニット（水抜き時）

(4) 中国 望都县地表水場

①施設概要

南水北調の水を原水とする、望都県市民へ水道水の提供を目的とし、BOT (Built Operate Transfar) 方式で整備された浄水場。

※南水北調：中国南方地域の水を北方地域に送り慢性的な水不足を解消するプロジェクト。

2002 年 12 月 27 日、当時の首相朱鎔基によって着工を宣言された。

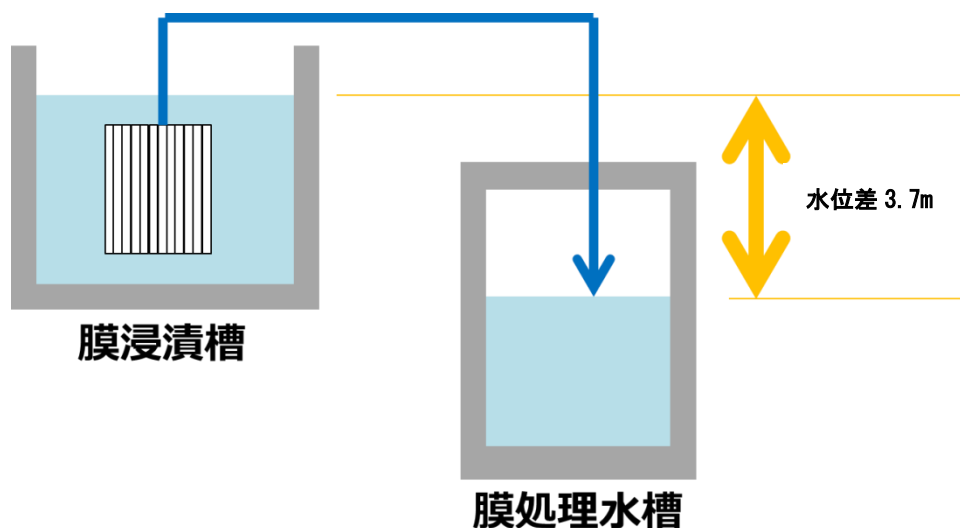


図 3-13 望都浄水場 水位差ろ過概念図

②原水水質（前処理後）

最大濁度 20 度

③水位差・膜ろ過流束・膜間差圧

3.7m

④前処理方法

凝集＋傾斜管沈殿

⑤回収率

99.9%（膜槽の濃縮水は原水槽に戻して凝集＋傾斜管沈殿処理）

【処理能力/仕様】

浄水量	12,500 m ³ /日（第1期）
系列数	1系列（第1期）

【膜エレメント仕様】

膜種	精密ろ過膜（MF膜）
膜素材	PVDF
公称孔径	0.05 μ m
膜ユニット	槽浸漬方式
ろ過方式	外圧式全量ろ過

【施設写真】



膜浸漬槽内の膜ユニット

3.3 場内位置エネルギー利用型（ケーシング収納膜利用）

(1) 羽村市浄水場

①施設概要

平成 16 年 3 月に従来の塩素消毒から膜ろ過に更新。選定理由はクリプトスポリジウム対策、土地（設置面積）の制限と維持管理の容易性。既設の取水ポンプで高架水槽に汲み上げて、PVDF 製大孔径膜により水位差でろ過。水槽高さは原水槽：GL+10 m、浄水槽：GL+7 m のため、水位差は 3 m。

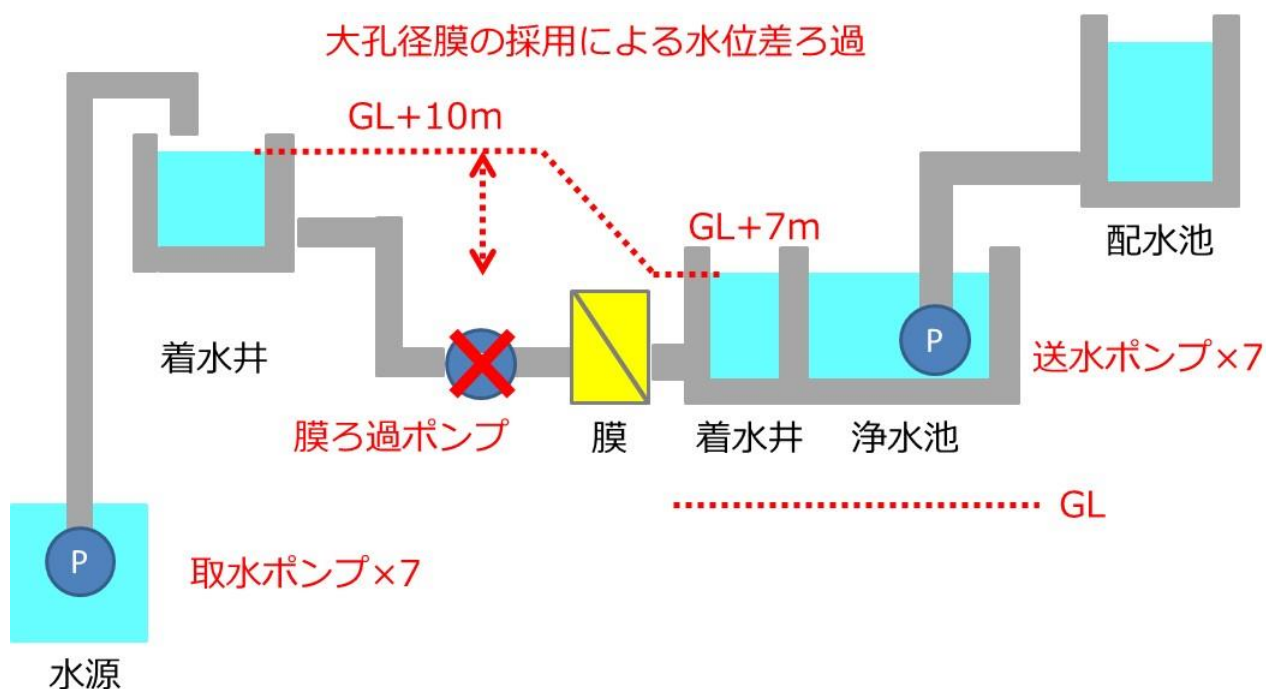


図 3-14 羽村市浄水場 水位差ろ過概念図

②所要動力

全体の使用量：0.2 kWh/m³（浄水場管轄の動力すべて含む）。

表 3-4 羽村市浄水場 浄水工程以外の動力設備(配水量に応じて使い分け)

工程	項目	動力内訳
浄水場内	空気洗浄用コンプレッサ	11 kW×4（2 台稼働）
	計装用コンプレッサ	5.5kW×2（1 台稼働）
取水工程	第一水源	15 kW×2 、 11 kW×1
	第二水源	15 kW×2 、 7.5kW×2
	第三水源	22 kW×3
送水工程	送水ポンプ	55 kW×7（3 台稼働）165 kW

浄水（膜ろ過）工程の消費電力は、0.02 kWh/m³（全体使用量から上記項目を引いて算出）

③原水水質

濁度：0.1 度（現地訪問時、原水濁度：0.078 度）

膜ろ過水濁度：0.044 度

④膜ろ過流束・膜間差圧

膜ろ過流束は $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ 、膜間差圧は 1～2 kPa。

⑤前処理方法

なし。

⑥回収率

98%。

⑦薬品洗浄に関する事項

薬品洗浄頻度：1 回/年

アルカリ剤：0.2%次亜＋2%水酸化ナトリウム混合液

酸剤：2%クエン酸

⑧その他特記事項

90 分に 1 回毎、空気を膜二次側から送り物理洗浄する。

【膜ろ過棟】

構造	鉄筋コンクリート 地上 2 階建
面積	1 階 : 531.98 m ² 2 階 : 149.69 m ²
延べ床面積	681.67 m ²

【原水槽】

素材	ステンレス製
最高高さ	10 m
有効容積	113.6 m ³

【処理能力/仕様】

浄水量	27,500 m ³ /日
系列数	18 系列 (90 ユニット)
ろ過流束	3 m ³ /(m ² ・日)

【膜エレメント仕様】

膜種	精密ろ過膜 (大孔径 MF 膜 (LP 膜))
膜素材	親水化 PVDF (ポリフッ化ビニリデン)
公称孔径	2.0 μm
膜面積	2 m ² /エレメント
膜ユニット	ケーシング収納方式 (56 エレメント/ユニット)
ろ過方式	外圧全量ろ過

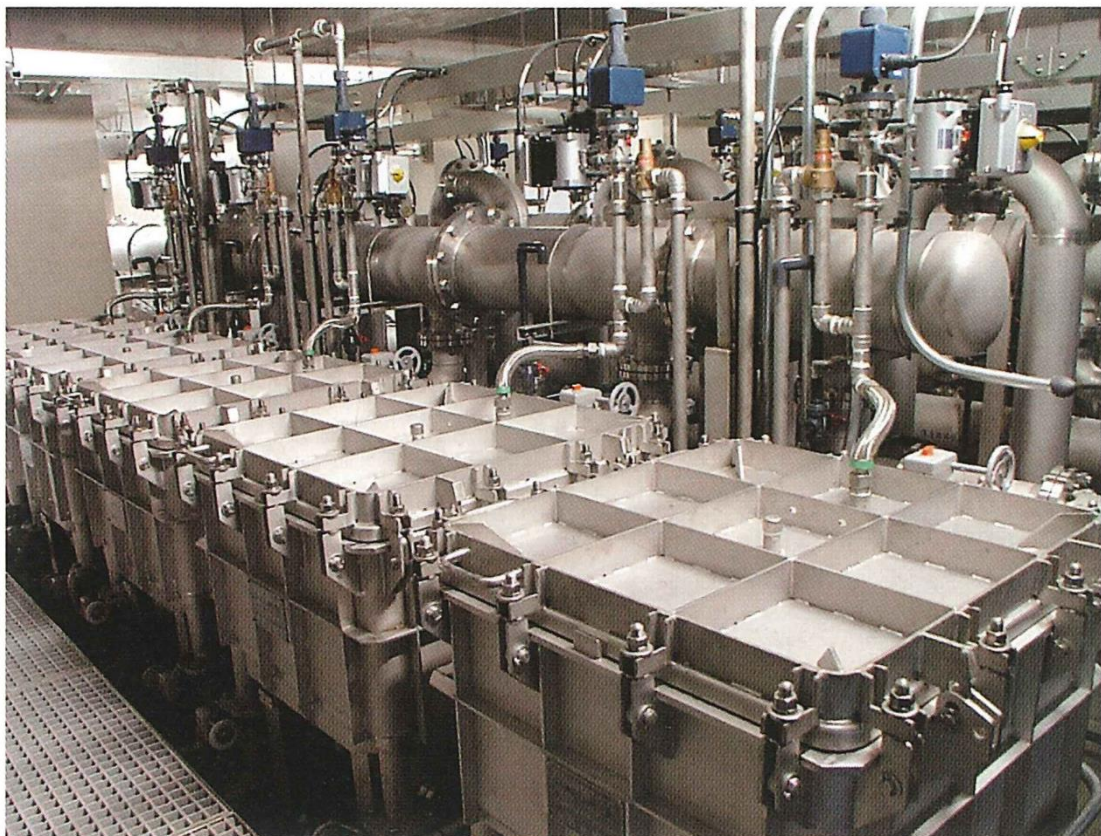
【施設写真】



膜エレメント



▲膜ろ過施設 (平成16年3月完成)



▲膜ろ過ユニット (1系列)

(2) 洞爺湖町 月浦浄水場

①施設概要

稼働開始は平成 14 年 2 月。原水ポンプで 6 m 高い原水槽に汲み上げて、半年以上ポンプを使用しない運転が可能。

②所要動力

③原水水質

原水濁度が最大 1 度程度。

④膜ろ過流束・膜間差圧

膜ろ過流束 $0.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ 。

⑤前処理方法

前塩素－凝集。

⑥回収率

98%。

⑦薬品洗浄に関する事項

薬品洗浄頻度：1 回/年、アルカリ剤、次亜塩素酸ナトリウムを使用。

⑧その他特記事項

物理洗浄は、90 分に 1 回毎。

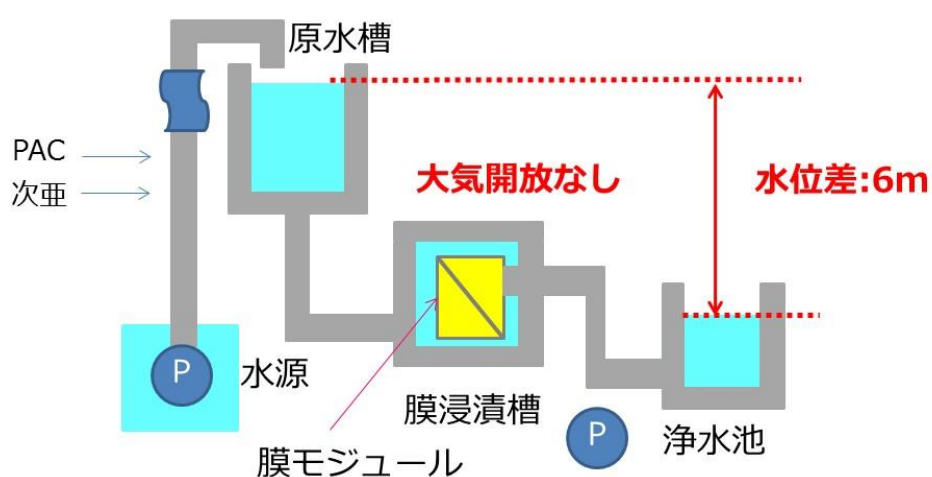


図 3-15 月浦浄水場 水位差ろ過概念図

【膜ろ過棟】

構造	鉄筋コンクリート 地上1階、地下1階
面積	15 m×46 m= 690 m ² (1階部分)

【原水槽】

素材	ステンレス製パネルタンク
最高高さ	10 m
有効容積	20 m ³

【処理能力/仕様】

浄水量	4,500 m ³ /日
系列数	3系列(90ユニット)
ろ過流束	0.40 m ³ /(m ² ・日)

【膜エレメント仕様】

膜種	精密ろ過膜
膜素材	親水化ポリエチレン
公称孔径	0.1 μm
膜面積	78 m ² /モジュール
ろ過方式	外圧全量ろ過



膜モジュール



膜分離槽

(3) 会津若松市水道部 滝沢浄水場

①施設概要

河川表流水のケーシング収納型セラミック膜による水位差ろ過システムの例。

場内の混和槽との水位差 5.5m を利用して膜ろ過を実施。

既設は緩速ろ過、急速ろ過の併用で 47,300 m³/日であったが、ダウンサイジングして 27,000 m³/日の施設規模にて更新。

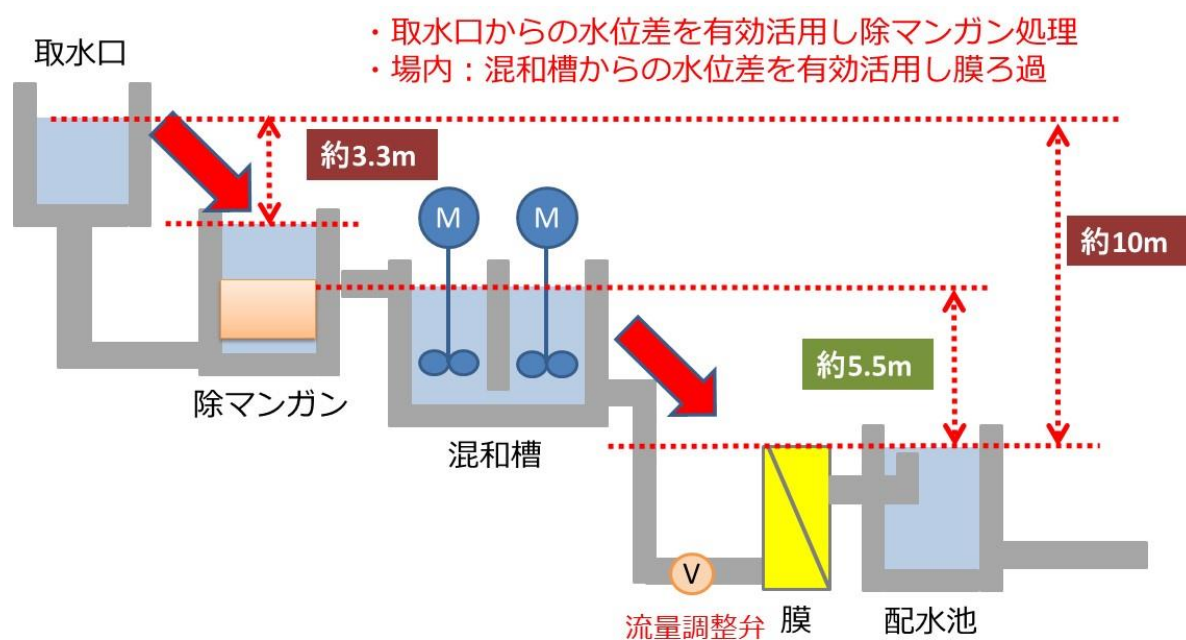


図 3-16 滝沢浄水場 水位差ろ過概念図

②所要動力

「マンガン処理」及び「膜ろ過」を水位差を有効活用し処理することで、浄水場で使用する動力を従来のポンプ方式の膜ろ過に比べ 73%削減。

③原水水質

猪苗代湖を水源とする河川表流水。

④膜ろ過流束・膜間差圧

計画膜ろ過流束 3.1～4.1 m³/(m²・日)。

⑤前処理方法

原水→上向流マンガン処理→粉末活性炭→凝集混和→膜ろ過。

取水口からの水位差を利用して、除マンガン処理並びに活性炭吸着処理並びに凝集混和される。これら前処理された水をさらに 5.5m の水位差を利用して膜ろ過される。

⑥回収率

最大で 99.9%。

⑦薬品洗浄に関する事項

オンサイト・オフライン設備で、硫酸と次亜塩素酸ナトリウムの 2 種類の薬品を使用して閉塞物を洗浄。

⑧その他特記事項

市が所有する他の既設浄水場の運転管理も含めた DBO での発注。
膜ろ過への更新で余裕が出来た敷地を利用して太陽光パネルを設置。

【膜ろ過棟】

構造	RC 造 地上 1 階、地下 1 階建
面積	1,298.30 m ²
延べ床面積	2,213.23 m ²

【処理能力/仕様】

浄水量	27,000 m ³ /日
系列数	100 本/系列×4 系列
総膜面積	9,600 m ²
膜ろ過流束	3.1～4.1 m ³ /(m ² ・日)

【膜エレメント仕様】

膜種	精密ろ過膜(MF 膜)
膜素材	セラミック
公称孔径	0.1 μm
膜面積	24 m ² /エレメント
膜ユニット	ケーシング収納方式
ろ過方式	内圧全量ろ過

【施設イメージ&写真】



3.4 調査結果のまとめ

これまでの結果を表 3-5 のように整理した。ただし、以下に示した数値は、装置の設計や運用条件に大きく左右されることに留意する。

表 3-5 調査結果まとめ

項目	水源位置エネルギー 利用型	場内位置エネルギー 利用型 (浸漬膜利用)	場内位置エネルギー 利用型 (ケーシング収納膜利用)
①施設概要（膜種）	MF 膜、UF 膜	MF 膜	LP 膜、MF 膜
②所要動力	浄水に係る動力は、0.1 kWh/m³ 以下となる可能性が高いが、一部例外有り。		
③原水水質	表流水	伏流水、表流水	地下水、表流水
④膜ろ過流束・ 膜間差圧	ポンプを使った施設との直接比較はできないが、ポンプを利用した場合と比べて極端に低い膜ろ過流束や膜間差圧で設計していない。		
⑤処理方法	浄水水質を確保するのに必要な処理を行う。大気開放せずに凝集前処理する事例もある。	浄水水質を確保するのに必要な処理を行う。	
⑥回収率	ポンプ利用の場合と遜色ない。		
⑦薬品洗浄に関する 事項	他の膜ろ過設備と同等に設計し、運用されている模様。費用もほぼ同等。		

4. 膜ろ過のメリットを活かした浄水場の設計

膜ろ過浄水方式は、一般に維持管理費、特に動力費が高いことが課題と認識されており、浄水処理方式の選定時にはこれを理由として選定外とされるケースも見られる。

しかし、今回のガイドライン作成にあたって実例を調査した結果、設計上の工夫があればむしろ動力費を低減できていることが確認できた。つまり、計画設計の工夫により、水位差を有効に利用して膜ろ過のメリットを引き出せれば、従来の処理法よりもむしろ動力費を低減できる可能性があるということである。

そこで、「省エネルギー化のための膜ろ過」という本ガイドラインの考え方を確かなものとするため、以下の点について考察する。

- ・膜ろ過の動力費を低減するための設計上の工夫
- ・水位差利用を促進するためにこれから取り組むべき事項

4.1 膜ろ過の動力費を低減するための設計上の工夫

浄水処理フローの選定においては水圧の活用について十分に配慮すべきである。特に膜処理においては、水圧を有効利用することで、浄水処理を省エネルギーで行えるケースがあるので、施設の位置選定段階からそのメリットを考慮して比較検討すべきである。

ここまでの検討結果から、膜ろ過に要する動力費が高いという一般的なイメージは、膜ろ過の導入初期において、膜の強みである水圧の利用が十分に考慮されてこなかったことが大きな原因であると考えられる。しかし、本ガイドラインで示してきたように、水圧を有効利用する施設の具体例は多数にあり、その有効性は明らかである。今後は、水道施設の整備や更新の際に水圧を積極的に活用することによって、膜ろ過技術はむしろ浄水処理にかかるエネルギーを削減する効果をもたらせるとの認識を広げていく必要がある。具体的な提言を以下に示す。

1) 水源の位置エネルギーを水処理に使うメリットを説明する

水源の標高が高く自然流下で導水しているような場合には、取水場や着水井の位置や構造を工夫して膜ろ過を導入すれば、水圧を水処理に有効に利用できる。このような水処理における直接的な水圧利用は他の処理方式ではあまり見られない（凝集沈澱処理における迂流式の攪拌やフロック形成程度である）。

よって、横浜市の川井浄水場「セラロッカ」のように、効果的に水圧を利用している事例を念頭に、設計上の資料や事例の紹介を積極的に進めることで、膜ろ過による省エネルギーの可能性について広めることが必要である。

2) 取水導水も含めて水圧利用を考えた計画設計の必要性を説明する

急速ろ過方式等の既存の浄水処理を前提に浄水場の場所が決められ、場内の施設配置が検

討されると、膜ろ過により水圧を利用できる範囲は小さくなり、膜ろ過の優位性を引き出すことができない。

そこで、今後、浄水場の新設や更新を行うにあたっては、残存水圧の有効活用を前提とした浄水場の位置選定を行うべき点について、具体的に提言すべきである。具体的な例としては以下のようなケースが想定される。

- ・ 水源や浄水場の新設あるいは統廃合にあたって、水圧が確保できるかどうかを考慮して浄水場の位置を決定する。特に山間地の小規模水道等では管路の途中で水圧が余剰になる部分が発生することが多い。このような地理的特性を精査して水圧を積極利用する発想で浄水施設の位置を決めれば、膜ろ過のメリットを最大限活かすことができる。膜ろ過技術には、従来法と比べて、必要設置面積が小さく、運転も自動化しやすいなど、設置位置を選ばない特性が多く、この特性を利用する前提で自由水圧が残存する場所を選定する。導水管の途中で膜ろ過を設置するなど、必ずしも浄水場内に浄水処理設備を納めない思想で浄水処理システムを構築することも検討していくことが可能である。

4.2 残水圧と膜処理の利用の手引き

取水地点と浄水場の水位差が概ね 10 m 以上ある場合、水位差ろ過の導入を前提とした設計をすべきである。浄水場内でも 2 m 以上の水位差があれば、水位差ろ過の導入が期待できる。

膜処理施設を安定的に運転するために必要となる差圧は、原水が清澄であれば小さく、ファウリングしやすい水質であれば大きくなる。実際の事例の分析結果から原水水質や処理フローと必要差圧の検討のための目安を提示する。

- ①取水地点と浄水場の水位差が概ね 10 m 以上ある場合、水位差ろ過の導入を前提とした設計をすべきである。なお、水位差が 50 m 以上あれば、浄水での損失水頭を差し引いた残エネルギーで小水力発電が可能な場合もあるので併せて検討する。
- ②浄水場の場内で 7 m 程度の水位差があれば、原水水質によらず水位差を利用した膜ろ過を効果的に使用することが可能となるので、膜ろ過による安定した水質を得るメリットを得つつ、省エネを推進するための導入が検討できる。
- ③クリプトスポリジウム対策のみ必要な程度に原水が清澄な場合、水位差が概ね 3 m 程度あれば水位差を利用した LP 膜（大孔径膜）の導入が可能となる。
- ④浸漬型の水位差ろ過では 2.3～3m の採用事例がある。既設沈澱池等を活用したい場合等には、積極的に検討する意義がある。原水水質により前処理は入っても膜の部分で水質が安定していれば安定稼動が期待できる。

水源位置エネルギー利用型では、圧力開放しないで浄水することができる。川井浄水場「セラロック」のように水源の水位が高く浄水場の敷地が低い場合には、膜ろ過後に残存する位置エネルギーをさらに有効活用し、浄水池や配水池を従来よりも高い所に設置できることから、浄水場内だけに留まらず水道システム全体としての大幅なエネルギー低減が可能となる。また、場内位置エネルギー利用型（浸漬膜利用）では、佐野浄水場のように沈澱池等の既設躯体を使用できる場合には施設の有効活用や更新費用の低減にも寄与できる。

4.3 水位差利用を促進するためにこれから取り組むべき事項

一方で、これまでの膜ろ過施設の設計においてはエネルギー効率向上のための努力が不十分なケースもあったと考えられる。今後は、膜ろ過の導入時には位置エネルギー（水位差）の有効利用についてよりしっかりと検討すべきであり、具体的に取り組むべき点を示す。

- ・ポンプではなく位置エネルギー（水位差）を利用しつつ安定した運転をできるノウハウを蓄積する必要がある。導入初期の膜ろ過はポンプでエネルギー（水圧）を与える設計となっていた。この方法は水圧を確実に制御できるが、エネルギーの有効利用という点ではデメリットが大きい。また、ポンプを使うことを前提で作成された設計資料が主に使用されていることが、水圧の有効利用を阻害している可能性がある。
- ・水位差の利用を積極的に考慮することを基本とした膜ろ過技術の技術資料を作成する。また、エネルギー効率の高い処理フローを紹介する。MAC21 の時代から 25 年ほどが経過し、膜ろ過技術のノウハウは格段に高まっている。このように成長の早い技術の場合は、設計指針等の公的な情報提供のスピードでは最新事情を網羅できないことが想定される。たとえば、除濁のための膜では、クロスフローろ過ではなく全量ろ過を基本とするなど、その後の経験の蓄積により理解が広まった情報について伝えていく必要がある。
- ・大規模事業については、今後、ダウンサイジングの進行に伴い、水量には劣るものの水質に優れる上流の水源にシフトしていく動きがある。上流側の水源は水圧の有効利用には有利であるほか、膜ろ過はこのような水質の水源に向けた処理であり、遠隔地であっても自動化しやすいことなど水源の上流化との相乗効果を得やすい点がいくつかある。このような動きを踏まえ、膜ろ過施設の整備を検討してもよい。

5. 参考資料

5.1 水位差ろ過採用浄水場 普及状況

水源位置エネルギー型の膜ろ過浄水場の採用例を図 5-1 に示す。浄水場名が記載されているものは本稿で紹介した事例である。



図 5-1 採用例 (その 1)

場内位置エネルギー型（浸漬膜利用）及び場内位置エネルギー型（ケーシング収納膜利用）のうち、大孔径膜（LP 膜）を採用した膜ろ過浄水場の例を図 5-2 に示す。浄水場名が記載されているものは本稿で紹介した事例である。

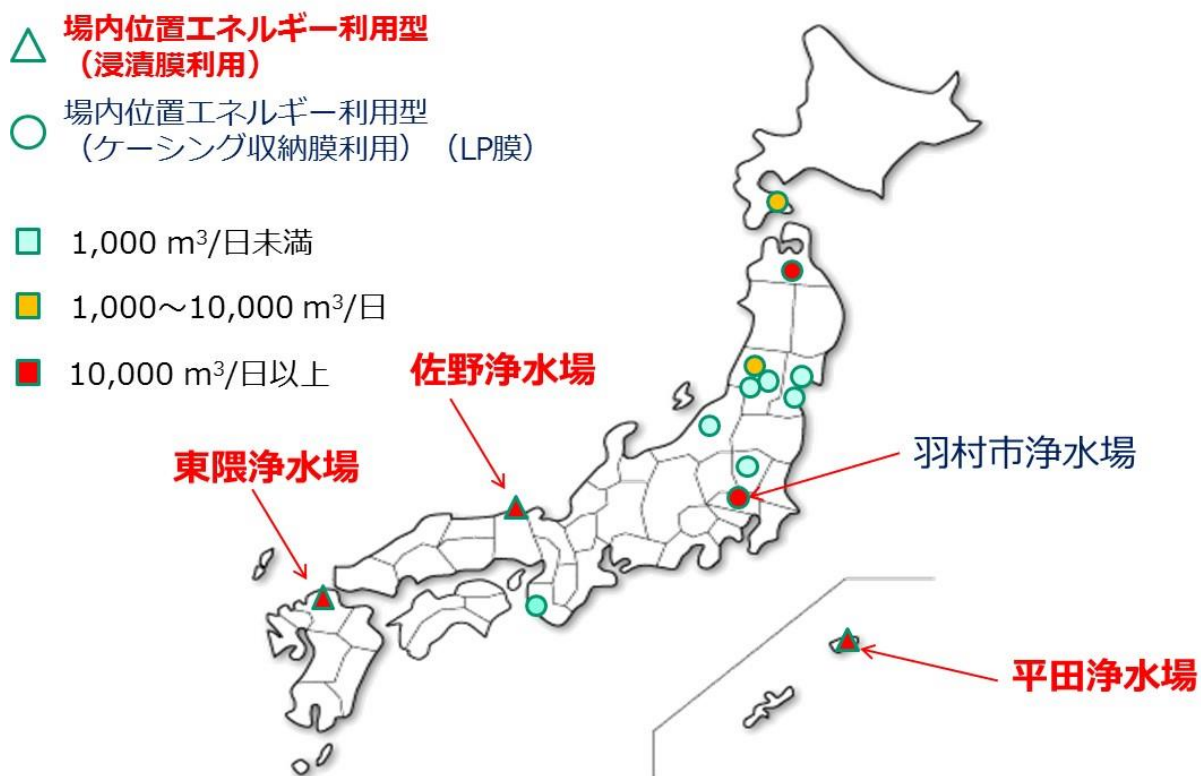


図 5-2 採用例（その 2）

場内位置エネルギー型（ケーシング収納膜利用）のうち、MF 膜を採用した膜ろ過浄水場の例を図 5-3 に示す。浄水場名が記載されているものは本稿で紹介した事例である。



図 5-3 採用例（その 3）



一般社団法人 膜分離技術振興協会

膜浄水委員会

東京都中央区東日本橋 3-12-11

TEL : 03-6712-0191

FAX : 03-6712-0192

URL <http://www.amst.gr.jp>

e-mail info@amst.gr.jp