

海水浸透取水方式による淡水化プラント施設の概要

—福岡における日最大量 5 万 m^3 の飲料水生産設備—

梶原俊昭・林 秀郎

福岡都市圏は水需要の増加や不安定な気象状況から、過去に幾度かの渇水に見舞われてきた。この渇水対策の一つの打開策として平成 17 年度の供給開始を目指して国内最大（海水取水量 103,000 m^3 /日、飲料水生産量 50,000 m^3 /日）の海水淡水化施設の建設に着手した。現在建設中の海水淡水化施設では浸透取水方式、UF 膜ろ過、高回収率 RO 膜、水質調整用の低圧 RO 膜の採用等々、数々の新技術を導入して、「自然との調和」「低コスト」「高信頼性」を実現させるものである。本報文ではこの施設概要を紹介する。

キーワード：淡水化プラント、海水淡水化、浸透取水、飲料水、UF 膜、逆浸透膜、RO 膜

1. はじめに

福岡都市圏は九州経済の中心として人口や産業が集中した都市圏であり、これまでも水資源の開発に積極的に取り組んできた。

しかし、地域内に 1 級河川を持たないため、増大する水需要に対応することが難しくなっていた。さらに、昭和 53 年、平成 6 年の極端な小雨によって、ほぼ 1 年に及ぶ給水制限が続き、都市機能や市民生活に大きな影響を与えた。

このような水事情を踏まえて、福岡都市圏に水道用水を供給する福岡地区水道企業団は、気象に左右されず、消費地に近く、工期が短く、安定的に水道用水を供給できる逆浸透法海水淡水化施設を「海の中道」として知られる福岡市東区奈多に

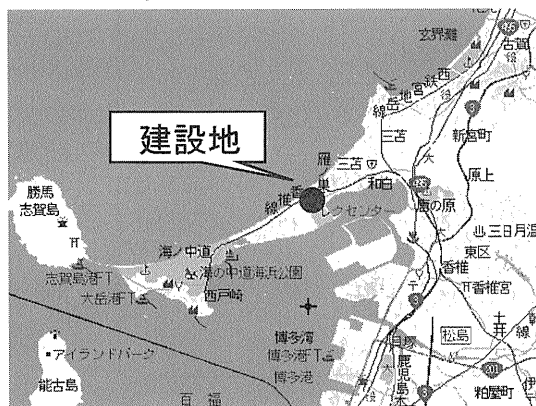


図-1 建設地

建設する事を決定した（図-1 参照）。

今回の海水淡水化施設は、

- ・自然との調和
- ・低コスト
- ・高信頼性

を目標に、淡水回収率 60% で飲料水生産量を国内最大の 50,000 m^3 /日とし、さらにおいしい水として親しんでもらうために生産水の水質は蒸発残留物 200 mg/l 以下を満足することとした。

海水淡水化施設は大きく分けると取水施設とプラント施設より構成される（図-2 参照）。以下に、各施設の内容を紹介していく。

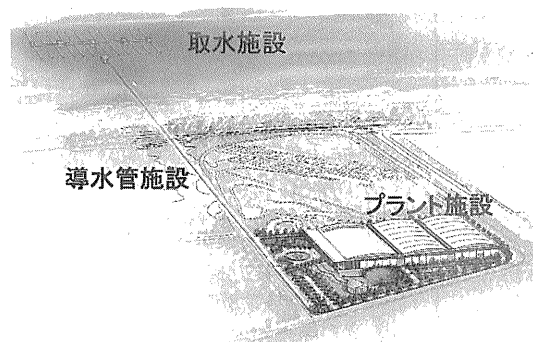


図-2 完成時の全体パース

2. 逆浸透法海水淡水化施設

海水を淡水にする海水淡水化には中東で普及している蒸発法、小規模の施設で使われ始めた電気

透析法等、幾つかの手法があるが、日本では他の手法に比較してエネルギー効率が高く、施設規模が小さく出来る逆浸透法が最も普及している。

今回の福岡でもこの逆浸透法による海水淡水化法が採用された。

逆浸透法の淡水化の原理は次のようになる。通常、半透膜で仕切られた容器に海水と真水を入れると、真水が半透膜を通り海水側に移動する浸透現象が起こる。これとは逆に海水側に圧力を加えると、海水中の真水が押し出される(図-3参照)。これが逆浸透現象であり、イオンもほとんど通さない半透膜がRO (Reverse Osmosis) 膜である。

しかし、逆浸透法に使用するRO膜は非常にデリケートで目詰まりに弱いため、RO膜に供給する海水には高い清浄性が要求される。したがっ

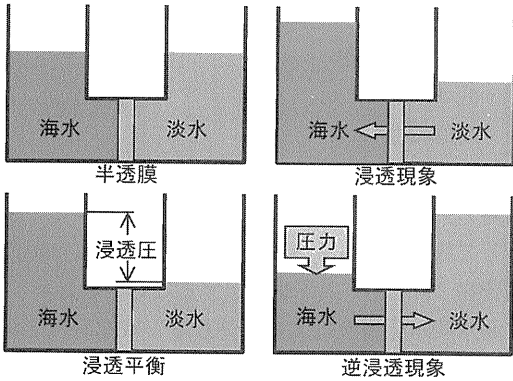


図-3 逆浸透現象の原理

て取水された海水は前処理施設で十分に浄化された後、RO膜に供給される。また、逆浸透現象を起こすには、海水を高圧に加圧する必要がある。このための加圧ポンプが大きな電力を消費するため、逆浸透法の海水淡水化施設には大電力を供給できるインフラストラクチャが必要である。

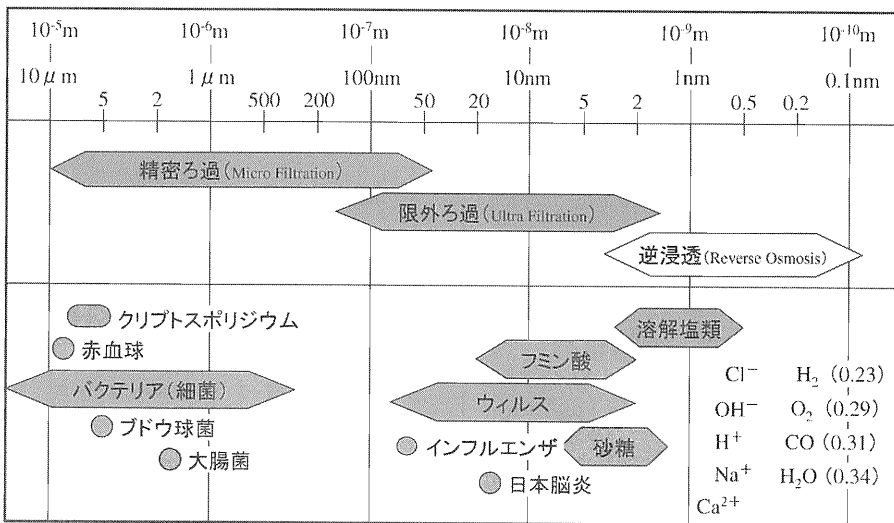
膜の世界で扱う大きさはナノメートルの世界であり、電子顕微鏡の領域である。したがって、一般にイメージしにくい領域であるので、スムーズに理解していただくためにスケール図を示しておく(図-4参照)。

3. 取水施設

(1) 直接取水方式

国内外で水道用水として多くの海水淡水化施設が稼働しており、その他にも海水を取水している施設が多く存在するが、ほとんどの海水取水方法は、構造がシンプルなため海水中に直接開孔部を設ける直接取水方式が採られている(図-5、図-6参照)。

しかし、直接取水方式の場合は、海水中のごみ、懸濁物、生物等々をすべて取水してしまうため、クラゲの異常発生、原油流出事故、高波浪による濁度の増大等で取水停止を起こす場合もある。また、フジツボやイガイ等の生物付着が激しいので定期的な清掃や付着しないようにする薬品添加が



※ 1 nm (ナノメートル) は 10 億分の 1m。1 μm (マイクロメートル) は 100 万分の 1m。

図-4 膜の世界のスケール図

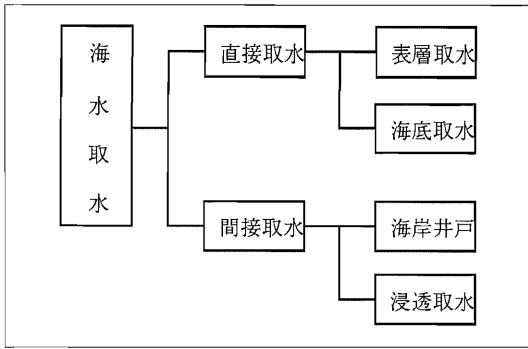


図-5 海水の取水方法

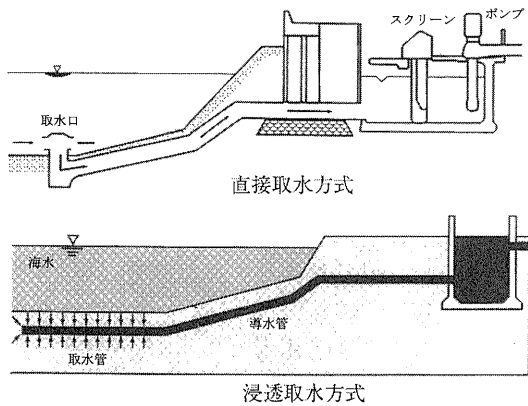


図-6 海水取水方法のイメージ

必要である。さらに、これらの海水以外の不純物はすべて汚泥として排出されるので、汚泥処理施設や汚泥処理費用が必要である。

(2) 浸透取水方式

今回福岡地区水道企業団が採用した取水方法は浸透取水方式であり、海底下に取水管を埋設して海底の砂層にしみ込んできた海水を集める方式である(図-7参照)。

浸透取水方式は後に述べるように多くのメリットを有しているが、実際に建設された例はほとんどない。普及していない最大の理由が目詰まりによる取水停止の危険性である。今回の福岡地区水道企業団における提案では、綿密な現地調査と詳細な数値シミュレーション、及び取水速度のコントロールと波による海底洗浄を期待できる取水位置の決定等により目詰まりを防止している。

浸透取水方式によって得られる海水は、既に海底の砂によって懸濁物や微生物がろ過された海水なので清浄度が非常に高くなる。これは、後に述べる海水の前処理行程の一部を海で行ってしまうことになり、さらなる清浄度の確保や施設規模の縮小に繋がる。

また、クラゲの発生や濁度が増大しても取水された海水の清浄度はほとんど変化しないので淡水化施設の安定運転が可能になる。生物学的な方向から見ると、フジツボやイガイ等の付着生物も浸透取水で得られる海水には含まれないため清掃や薬品なども不要になり維持管理費を低減できる。また、魚卵や稚魚等を吸込まないので周辺海域の生

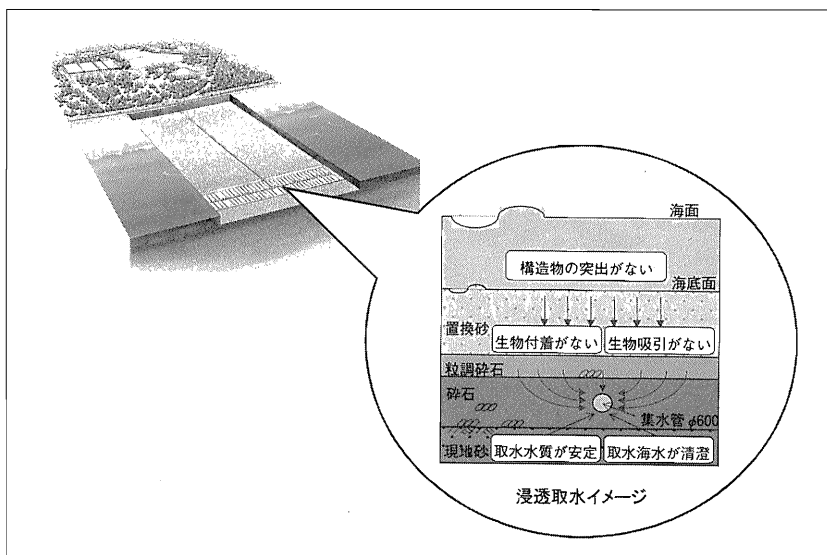


図-7 福岡地区水道企業団の浸透取水施設

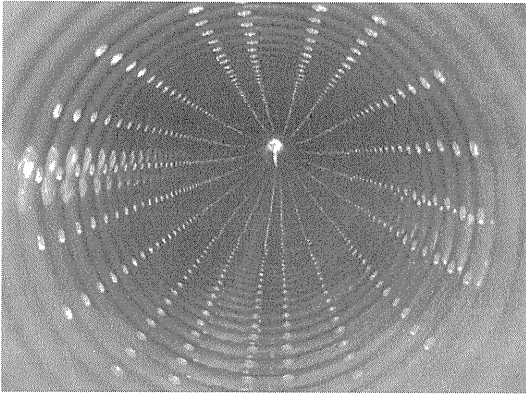


図-8 浸透取水部の集水管内部

物環境への影響がないと共に、海底に構造物が露出しないので完成後の漁業活動にも影響がない取水方式である。

清浄度としては、実験では濁度 0.02 という値が記録されている。また、大腸菌もほとんどろ過されるという話もある。

取水施設本体（浸透取水部）の施工は、玄界灘の水深 11 m の海底を掘削後に、ろ過砂や集水管を埋設する。取水施設からプラント施設までの導水管は、途中で鉄道及び国道を挟むために推進工法によって陸側から取水部に向けてトンネルを掘削した。

4. プラント施設

(1) 前処理施設

一般的な海水淡水化プラントは

- ① 取水された海水から懸濁物質や微生物等を

除去して海水を浄化する前処理施設、

- ② 海水から淡水を分離する逆浸透施設、

- ③ 濃縮海水と淡水の送水施設、前処理施設で発生した汚泥を処理する施設、

から構成される。

この中で施設面積のかなりの部分を占めるのが前処理施設である。前にも触れたように淡水化施設の核となる RO 膜は非常にデリケートなため、取水された海水を前処理によって浄化する必要がある。通常の前処理は砂を詰めたタンクに、凝集剤を添加した海水を通すことでろ過が行われる。

海水の清浄度は通常 SDI 値で表現される。SDI 値とは、Silt Density Index の略で、通常の濁度計では計測困難な濁質量を数値化した指標で、一般に、RO 膜へ供給する海水は SDI=4 以下にする必要があるとされている。

今回の福岡の事例では、前処理施設として UF (ultra filtration) 膜を採用している。UF 膜とは非常にろ過効果が高く、ウィルスもほとんど通さない膜で、RO 膜の前処理施設として最適と考えられていたが、低コスト型の UF 膜は原海水を直接通水すると、目詰まりを起こしやすいので、海水淡水化施設で使用するのは難しかった。今回、浸透取水によって、一次ろ過された海水は SDI=4 程度まで清浄になり、UF 膜の使用が可能となった (図-9 参照)。

UF 膜の採用により、海水の清浄度は SDI=2 程度まで向上すると共に、通常の砂ろ過による前処理に比較して前処理設備面積を 1/2~1/3 に縮小出来た。

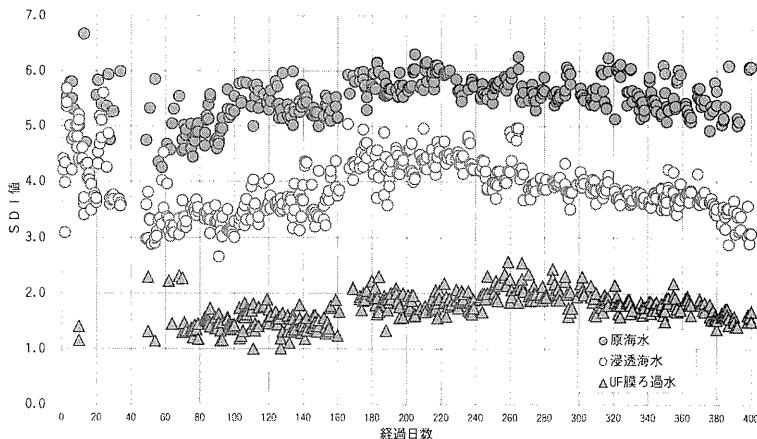
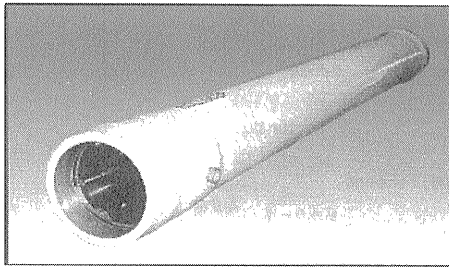


図-9 SDI 値の変化 (実証試験結果)

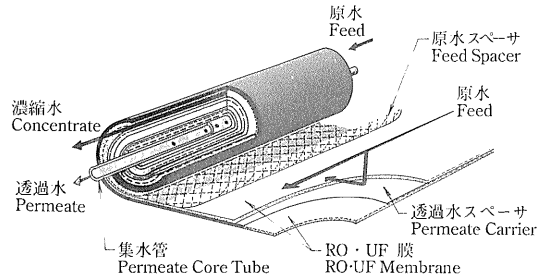
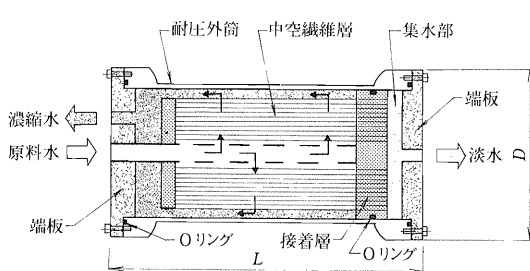
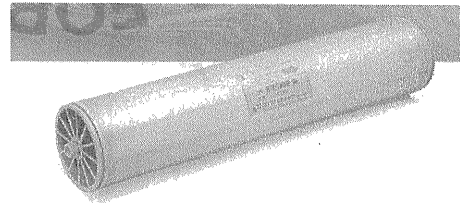
高圧用逆浸透膜

三酢酸セルロース系中空糸型高圧逆浸透膜



低圧用逆浸透膜

ポリアミド系スパイラル型低圧逆浸透膜



図一10 高圧及び低圧 RO 膜

さらに、前処理施設での清浄度の向上によって RO 膜への負荷が低減するので、RO 膜の耐用年数（通常 5 年と言われている）が延びる可能性が高くなった。RO 膜は高価な膜なため、耐用年数を延長できれば造水コストの低減に大きく影響する要因である。

(2) 逆浸透施設

次に海水淡水化の本体である RO 膜による逆浸透施設である。

今までの RO 膜の淡水回収率（RO 膜に供給される海水と生産される淡水の比率）は 40% であったが、今回は新開発された淡水回収率 60% の RO 膜を採用した（図一10 参照）。淡水回収率が向上することは、使用エネルギーの節約、施設面積の縮小、コスト削減にも繋がる要因である。

さらに、今回は生産された淡水をおいしくするために、低圧 RO 膜を導入した。この低圧 RO 膜の採用によって、従来は難しいとされていた蒸発残留物 200 mg/ℓ 以下を満足した淡水の生産が可能となり、以前よりもおいしい水ができるようになった。

このように、多くの新技術を導入して生産効率の向上を図ったが、さらに生産コストを縮減させ

るために、大きな貯水槽を作ることで、最も電気代の高い夏の昼間の生産を縮小し、深夜電力による生産を増大させ、生産に関わる電気代の削減を行った。

(3) 濃縮海水の放流と淡水の送水

海水から淡水を抽出すると、当然、濃縮海水が出来る。

今回、この濃縮海水は近隣の下水処理水と混合・希釈されて海へ放流される。また、生産された淡水は福岡都市圏に飲料水を供給している多々良浄水場へ送水し、浄水場の水と混合されて一般家庭へ配水される。

(4) 汚泥処理施設

通常の海水淡水化施設では、日量 103,000 m³ の海水を前処理すると一日に 3 m³ 程度の脱水ケーキが排出され、産業廃棄物として処理される。しかし、今回の施設では浸透取水の採用により、汚泥発生量がゼロであり、したがって、処理施設も不要である。

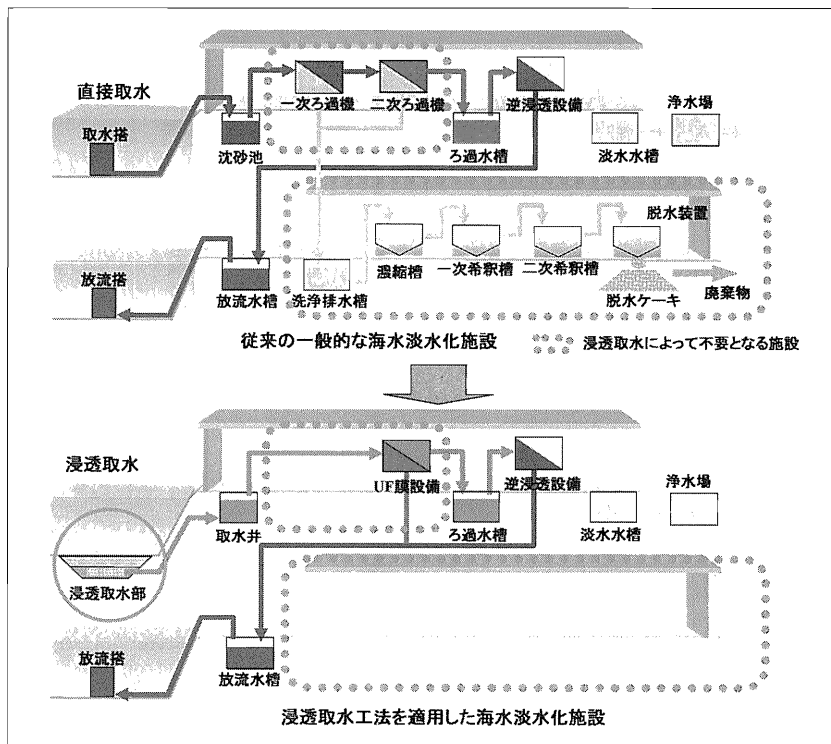


図-11 海水淡水化のシステムフロー

5. おわりに

今回の提案は上述したように数々の新技術を導入した新しい海水淡水化施設であり、完成後は国内最大、世界でも逆浸透法では7番目の規模になる。

また、今回採用した浸透取水施設は海水淡水化に限らず、清澄な水を必要とするあらゆる取水施設に適用可能である。

21世紀は「水の時代」といわれ、水を巡っての国際紛争が発生するとの予測もある。日本も降水量はほぼ安定しているが、洪水と渇水の変動が年々激しくなっており、安穏とはしてられない。また、人口密度が高いため、一人あたりの降水量では一気に水の乏しい国になってしまう。農産物という形での大量の水輸入も国際的に問題視され

つつある。

今後、国内、国外を問わず、ますます海水淡水化技術が必要とされる時代になると考えている。

J C M A

【筆者紹介】



梶原 俊昭 (かじわら としあき)
海の中道海淡 JV 工事事務所
所長



林 秀郎 (はやし ひでろう)
株式会社大林組
エンジニアリング本部
ソリューションエンジニアリング部
課長