

〔特集〕震災を経て考える液体清澄化の新技術と普及の課題

分散型水処理・供給システムと地下水の飲料化

—膜分離技術による水利用の効率化と防災対策—

等々力 博明*

1. はじめに

昨年発生した東日本大震災は、地震、津波、放射能が複合した未曾有の大災害であり、これまでにわが国が培ってきた社会インフラに甚大な被害を与えた。戦後の経済発展に伴って大きな役割を果たしてきた大規模集中型の施設群は短期、長期に渡り機能停止に陥るなど、少なからず影響を受けている。

大規模集中型システムの最大の特徴は、規模の利益としてマスメリットが得やすいこと、集中管理体制の構築が比較的容易であることがその利点としてあげられる一方、機能強化は考慮されていたとしても、ひとたび機能障害が発生するとシステム全体へ影響が波及しやすく、その復旧に必要となる負担も大きくなる点が課題である。

この状況下、大規模集中型システムと連携して社会基盤を強化する観点から、小規模分散型システムへの関心が高まっている。背景には「フェイルセーフ (Fail Safe)」や「冗長化 (Redundancy)」、「二元化 (Durability)」などの考え方があり、1つのシス

テムが機能停止に陥ったとしても、もう1つのシステムがバックアップとして機能し社会生活への影響を極小化するというものである。

専用水道、特に自己水源を用いた飲料水確保という点で、膜分離技術を用いて地下水を飲料化する分散型水処理・供給システム（以下、「地下水膜ろ過システム」）の導入が近年急速に増加している。水道事業体が運営する大規模集中型の水処理・供給システムに対し、地下水膜ろ過システムは当該敷地内に井戸を掘削して地下水を自己水源とし、専用の揚水機と膜ろ過を中心とした浄水装置を設置して飲用に適する水（以下、処理水）を供給する専用水道を指す（写真1）。

取水から浄水、送配水設備までが同一敷地内に敷設された自己完結型の水道施設であるとともに、貯水槽では公共水道との併用化が図られている。大規模集中型システムと連携しつつ、互いの特徴を補完し合える新たな仕組みとして、また、水利用の効率化や災害対策の1つとしても有効で注目を集めている（図1）。

本稿では、東日本大震災での稼働状況などを踏まえ、（株）ウェルシの地下水膜ろ過システムを念頭に、膜分離技術を用いた水処理施設の動向と分散型

*Hiroaki TODORIKI；(株)ウェルシ 海外事業部
e-mail : todoriki@wellthy.co.jp

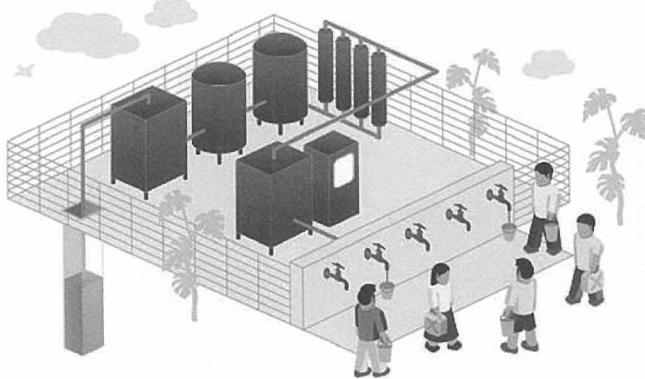


図1 分散型水処理・供給システムと災害対策

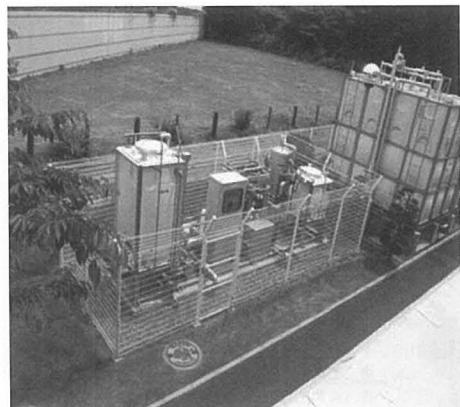


写真1 地下水膜ろ過システム

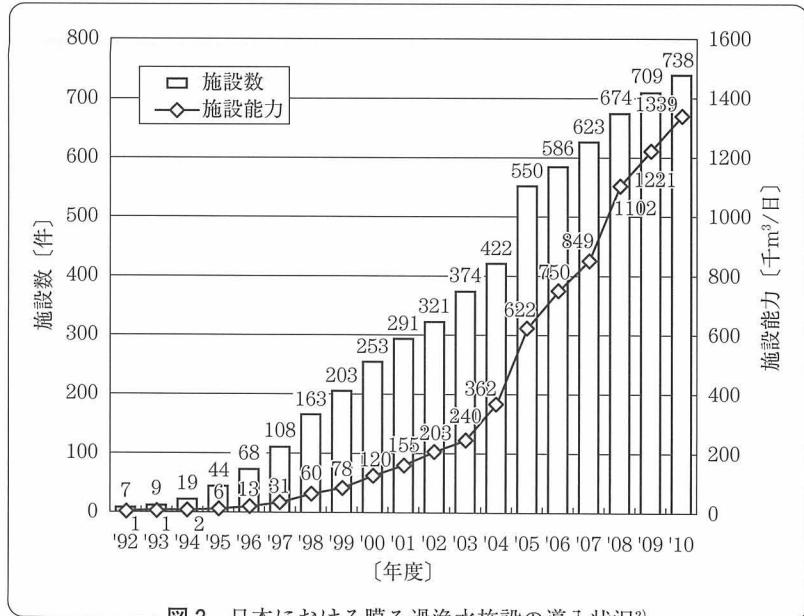


図2 日本における膜ろ過浄水施設の導入状況²⁾
(MF/UF 膜: 1992年~2010年)

水処理・供給システムの概要を紹介する。

2. 膜ろ過施設の導入動向¹⁾

水道分野における膜ろ過技術の開発は、旧厚生省の2大研究プロジェクトである「MAC 21 計画」(1991年~1993年)と「高度処理 MAC 21 計画」(1994年~1996年)から始まっている。「MAC 21 計画」は除濁を狙いとした精密および限外ろ過法による浄水技術の開発が目的であり、この研究成果を踏まえた「高度処理 MAC 21 計画」ではトリハロメタン前駆物質(THMFP)や異臭味、ウィルスなどの除去が可能な高度膜ろ過浄水技術と膜ろ過法による排水処理技術の開発が目的であった。その後も膜ろ過法に関する研究開発は継続されており、「高効率浄水技術開発研究(ACT 21)」(1997年~2001年)や「環境影響低減化浄水技術開発研究(e-Water)」(2002年~2004年)、さらには「安全でおいしい水

を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究(e-Water II)」(2005年~2007年)へと引き継がれている。

その間、1994年には旧厚生省通達として「浄水施設における膜ろ過技術の適用について」が発行され、浄水処理に膜ろ過技術が採用されることとなった。これに合わせて1994年には簡易水道を対象に、1997年からは上水道を対象として国庫補助金が交付され、膜ろ過技術の普及が促進された経緯がある。その後は小規模水道を中心に膜ろ過施設の普及が拡大、近年では日量17万m³を超える大規模施設の建設も進み、2010年度末現在では計738施設で日量1,339千m³の膜ろ過処理水が供給されている(図2)。

水道事業体を中心とした膜ろ過技術の導入増加に合わせ、2000年前半からは専用水道でも膜ろ過技術の導入事例が増加している(図3および図4)。専用水道は上水道や簡易水道に比べて規模が非常に小さく、相対的な給水量は僅かであるが、導入割合では水道事業体に比べて飛躍的な伸びを示している。

3. 地下水膜ろ過システムの特徴³⁾

地下水膜ろ過システムの特徴は、おおむね以下の通りである。

1つ目は、水源を含む水処理・供給システムの分散化である。分散水源である井戸から揚水された地下水は膜ろ過処理によって浄化され、水道法第4条が定める水質基準に適合した飲料水となる。浄水・送配水設備も同一敷地内に敷設されるため、専用水道の施設全体が1カ所に集約される形で施設内に設置されている。

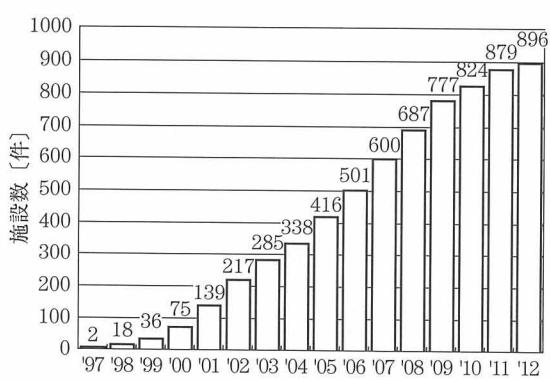


図3 ウエルシイの導入実績：件数 (1997年~2012年) — 図4 ウエルシイの導入実績：内訳 (1997年~2012年) —

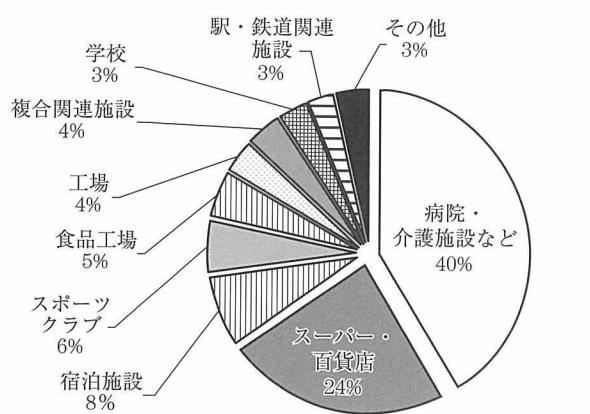




写真2 水戸医療センター

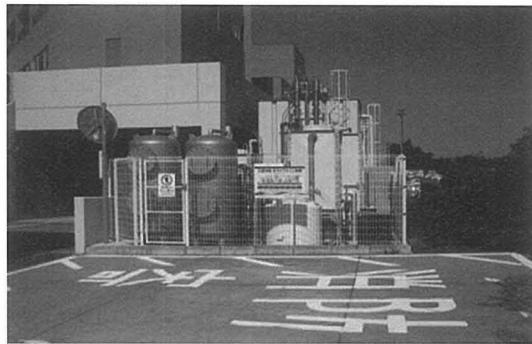


写真3 プラント全景

また、水処理システムの分散化では、当該施設の地下水飲料化で必要となる水処理技術をピンポイントで採用するため、公共水道の送配水過程で懸念される水質変動を考慮しなくても飲料水を効率的に製造・供給することが可能であり、送配水に必要となるエネルギーコストも大きく削減することができる。

2つ目は、膜ろ過を中心とした浄水処理技術の採用である。安全・安心な処理水を安定的に供給し得る低エネルギー消費型の膜分離技術と様々な前処理技術を適宜組み合わせることで、幅広い水質の地下水を飲料化することが可能である。

3つ目は、運転・維持管理の容易さである。地下水膜ろ過システムでは施設担当者（水道技術管理者など）が日常点検を行っているが、設備自体の定期点検は水道技術管理者の指導の下、導入業者によって行われることがほとんどである。定期点検は薬品補充等とともにおおむね2~4週間に1回程度行われるが、膜ろ過装置の運転・維持管理は比較的容易なため、原則無人での連続運転が可能である。また、設備の分散化は管理の分散化も招きかねないが、ICT（情報通信技術）と遠隔監視システムを用いることで管理体制の集約が可能となっている。

4つ目は、処理水と水道水との二元給水（相互バックアップ）である。常時給水可能な公共水道を併用する地下水膜ろ過システムは通常1系列で設計されており、断水リスクの軽減と経済性の向上を追求することができる。

5つ目は、処理水の給水原価に起因する経済性である。地下水膜ろ過システムの導入は公共水道における水道水の使用量を低減させるが、代替使用する処理水の給水原価が公共水道に比べて廉価であり、結果として水道使用料金が削減される場合が多い。設備導入に係る投資額や回収期間が大規模集中型のシステムに比べて小さく、費用の点でも負担は軽いと言える。

4. BCP/CSRと防災対策⁴⁾

昨今では民間企業における事業継続計画（BCP）の策定や企業の社会的責任（CSR）、環境負荷の低減に対する意識の高まりもあり、これらを実現する手段として地下水膜ろ過システムを導入する施設の割合が増加している。

BCPへの貢献では、水道水と地下水の処理水との二元給水が断水による操業停止リスクを大幅に低減するため、事業継続の観点で極めて有効である。基幹管路耐震化率が30.3%（平成21年度末）と低い水道管路に比べて井戸は地震の影響を受けにくいと言われており、電源または自家発電設備があれば災害時の長期断水を回避できる可能性は高い。（株）ウェルシィの実績では、東日本大震災においても上水道が断水するなか、関東・東北地方で導入された501件の地下水膜ろ過システムで大きな被害を受けたものは数件（液状化・建物自体の損傷：2件、機器類の固定ボルト破断：2件、配管の部分破損：数件）であり、災害対策の1つとしてきわめて有効であることを実証した。

また、災害対策とBCP、CSRを両立させる一環として、地域の拠点病院などでは災害時の事業継続体制を確保するだけでなく、自治体や自治会などと防災協定を締結して地域住民への災害時の飲料水供給を計画している施設がすでに10件前後に上っている。このうち、東日本大震災で上水道が断水したものの、地下水膜ろ過システムが飲料水供給を補完した事例として国立病院機構 水戸医療センターを以下に紹介する。

4-1. 導入事例

国立病院機構 水戸医療センターは、全国に144の病院を持つ国立病院機構の中でも500以上の病床を持つ13病院の1つである。水戸市と茨城町一帯の50万人をカバーし、茨城県からは地域医療支援

表1 原水と処理水

項目	単位	水道水質基準	原水	RO 透過水	最終処理水	目標水質	除去率
水温	℃	—	16.9	16.7	16.8	—	—
pH	—	5.8~8.6	6.97	5.80	7.20	7.0~8.0	—
TOC	mg/L	<3.0	0.3	<0.3	0.1	—	—
濁度	NTU	<2.0	15	<0.1	<0.1	<0.1	99.9%
色度	Deg	<5.0	20.0	<0.1	0.5	1.0	97.5%
鉄	mg/L	<0.3	5.9	<0.03	<0.03	<0.03	99.9%
マンガン	mg/L	<0.05	0.240	<0.005	<0.005	<0.005	99.9%
アンモニア態窒素	mg/L	—	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	99.9%
シリカ	mg/L	—	58	3	3	40	31.0%
導電率	μS/cm	—	300	8	190	200	63.3%
遊離塩素	mg/L	>0.1	—	—	0.6	0.5~1.0	—

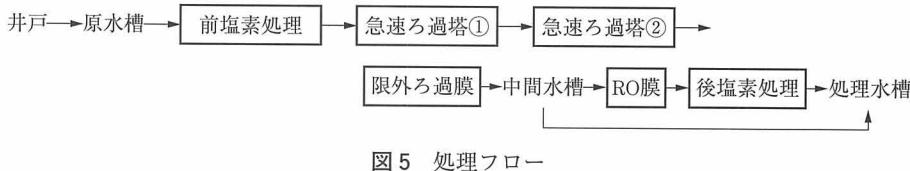


図5 処理フロー

病院の認証を受けた拠点病院でもある（写真2～3）。

導入された地下水膜ろ過システムは、上水道と変わらない水質の飲料水を日量312m³造水する能力を有している。センター全体で日量270m³の水を使用しており、うち210m³（約1日分）は貯水槽に貯められている。

原水および処理水の水質データを表1に示す。原水の水質は鉄5.9mg/L、マンガン0.24mg/L、シリカ58mg/Lと高く、当該施設の要求水質基準としてシリカの最大濃度が40mg/Lと規定されている。

鉄およびマンガンについては水質基準値の1/10以下、シリカは40mg/L以下を目標水質として、前処理では2段式の急速ろ過による鉄およびマンガンの除去を行い、後段工程ではUF膜およびRO膜を用いて懸濁物質とシリカの除去を行っている。処理フローは図5の通りである。

上記の処理によって前処理装置では鉄およびマンガンが水質基準値の1/10以下まで除去され、RO膜ろ過装置でシリカは3mg/Lまで処理されている。前処理水とRO透過水は最終処理水槽で混合され、結果として要求水質基準であるシリカ40mg/L以下を満たしている。

4-2. 東日本大震災での稼働状況

水戸医療センターに地下水膜ろ過システムが導入されたのは2011年1月、東日本大震災発生のわず

か1カ月半前の出来事だった。

周辺地域では、震災発生の直後から14日間上水道が断水しており、地下水を利用した地下水膜ろ過システムを導入していなければ医療行為の継続そのものが困難な状況であった。また、電力に関しては電力会社からの給電に加えて自家発電機を併設する施設が多いものの、水に関しては井戸を所有していても飲料レベルまで処理・使用していた近隣病院は皆無であった。

水戸医療センターでは、ライフラインに関わる病

院内設備の機能の二重化を図ることで日常から非日常に備えていた。例えば、電気では2台あるコーナーネーションシステムのうち1台を常時稼働させることで、重油の給油ルートを確保していた。会議室には酸素吸入用の配管をあらかじめ敷設し、待合室のソファーはベッドにも変えられるものを導入することで緊急事態に備えていた。

これらに加え、「水」に関する機能を二重化すべく、上述のシステムを導入していたおかげで、建物が崩壊した水戸市内の他の病院や津波で被害を受けた福島県内の病院からの入院患者を追加的に受け入れることが可能となり、拠点病院としての機能を十二分に発揮できることとなった。

5. 今後の展望

5-1. 官民連携と相互補完

今後の展望として、まずは総合的な水資源管理の早期実現をあげたい。「地下水は誰のものか」という議論があるなかで、循環資源である地下水の適正利用と公益確保の視点は必要不可欠である。また、膨大な地下水データの効率的な活用は、資源の有効利用という点でも重要である。水に関する分野横断的な活動やICTの活用などを通じ、地下水を貴重な水資源の1つとして適正利用することが今後一層求められる。

次に、官民連携による相互補完である。地下水膜



図6 集中型と分散型による相互補完

ろ過システムの導入拡大が水道事業体の給水収益に一定の影響を及ぼすという課題はあるが、逆に、地下水膜ろ過システムにはさまざまな特徴と導入メリットが存在することも事実である。例えば、運営基盤が脆弱な簡易水道事業体と連携し、第三者委託制度の活用による経費削減と事業経営の安定化、膜ろ過という高度な浄水処理技術の導入に地下水膜ろ過システムの維持管理ノウハウを応用することは可能である。

また、先の東日本大震災では、地震発生から1週間が経過しても全国で少なくとも160万戸が断水し、復旧までに数週間以上の時間がかかる地域が数多く発生する事態となった。多くの被災者を出した東北地方のみならず、首都圏でも大規模な断水が発生してライフラインに甚大な影響を与えたことを鑑みると、直結・直圧方式の水道管網の整備と耐震化の推進だけでは現実的な災害対策として十分でないことが浮き彫りとなった。

災害地周辺や首都圏近郊の拠点病院で多く導入されている地下水膜ろ過システムは、今回の大震災でも地震によって甚大な破損が生じたものはほとんどなかった。長期的な上水道の断水を補完すべく、水そのものが限られた地域にありながら災害時のライフライン確保と被災者に対する医療行為の継続を可

能とした点では、まさに生活を守るための命綱となって災害に強いシステムであることを実証する結果となった。水道施設の耐震化が困難な現状を踏まえると、地下水膜ろ過システムを分散型の水道施設と位置付けて、水道における耐震化投資の軽減策とすることは現実的な選択肢の1つになり得ると考える。

5-2. 水利用のベストミックスを目指して

わが国の水道業界には、国民生活や産業発展を支える大切な水を広域かつ長期にわたって提供し続けてきた歴史がある。2010年度時点の日本の水道普及率は97.5%に達しており、日本国内の水インフラ整備がある種の到達点に辿り着いた帰結とも言える。

しかし、水道業界におけるインフラ整備では、大規模集中型の水処理・供給システムは設備導入から半世紀が経過し、経年劣化が著しく、将来の人口減少を考慮した更新計画を策定する必要がある。また、節水意識の高まりや経済活動の鈍化などによって給水量は減少傾向にある。社会情勢の変化とともに給水収入も減少するなか、今後設備更新だけではなく、防災対策としての耐震化工事などに多額の費用負担が必要となることが予想され、日本の水道業界にとっては収益を確保しつつ、いかに設備更新を進めていくかが大きな課題となっている。

一方、資源の有効利用や環境配慮の考え方が浸透し、近年新たな水利用の考え方として「水の地産地消」や「リサイクル」といった概念も広がりつつある。水源周辺の限られた給水区域に分散型の水処理・供給システムを設置し、新たな水源としての雨水併用や、分散型の排水処理システムを併設して全ての水循環を小さな系内で行えば、水資源の有効利用と高効率化が実現できる。ここに、大規模集中型の上水道を併用して水道システムを二元化できれば災害対策としても有効であり、東日本大震災では飲料水供給の分野で一定の成果が確認されたところである。

集中型と分散型、そのいずれにも特徴はある。どちらか一方の優位性を競うのではなく、互いの特徴をそれぞれ活用して受益者の利益を最大化する「水利用のベストミックス」(図6)を目指すことが、

日本の水道業界全体が抱える課題解決の一助になるのではないだろうか。

分散型水処理・供給システムの普及拡大と進化を通じ、集中型と分散型による相互補完、その先にある分散型ネットワークの構築とライフライン強化により、真の意味でスマートな水利用社会が到来することを期待したい。

〈参考文献〉

- 1) 渡辺義公／国包章一、水道膜ろ過法入門 改訂版, p. 2-8, (株)日本水道新聞社 (2010)
- 2) (財)水道技術研究センター、水道ホットニュース第269号 (2011)
- 3) 菅原正孝、水浄化技術の最新動向, p. 38-54, CMC 出版 (2011)
- 4) 日本膜学会、『膜』2012年1月号、「製品と技術」(2012)

P&P Info.

移動混合と拡散混合が同時に見える「クロスミキサー」

「クロスミキサー」は、公転(混合容器を連続横転運動)させながら、同時に容器自体も自転(連続回転運動)することにより、移動混合と拡散混合が同時に速やかに行うことができ、比重差・粒径差のある原料の混合も、より短時間で均一に行うことができる。また、小型機から大型機までオプション設定も含め多種多様な用途・目的に合わせた機種選定が可能である。

〈特長〉

- 1) 混合容器の公転運動と自転運動により短時間で均一な混合ができる
- 2) 自転・公転同時回転により、原料が積極的に動くため、充填率が高くとれる
- 3) 容器内にリブなどの突起物が

なく、品種変え時の清掃が容易で、コンタミの心配もない

- 4) 自転しながら密閉で排出を行うので、粉体の飛散もなく短時間で完全排出ができる
- 5) 原料の三次元運動により、衝撃が少なく粒径破壊がない
- 6) 容器脱着タイプは、容器そのままコンテナとして利用できる

〈用途〉

食品：小麦粉、粉末スープ、カレーパウダー、コーヒー粉

化学：樹脂、PVC、有機化学品、薬品

粉末冶金：銅粉、アルミ粉、ニッケル粉、チタン

電子材料：フェライト、酸化チタン、人造黒鉛

窯業：シリカ粉、アルミナ、石灰



石、タイル粉

医薬品：製剤、生薬、乳糖、ビタミン

その他：農薬、飼料、セメント

OMC 株式会社

〒460-0014

名古屋市中区富士見町 8-8

TEL : 052-332-2111

E-mail : omc 02@onoe.co.jp

〈資料請求番号：3020〉