

招待論文

未来型水道へのアプローチ

(財)水道技術研究センター 専務理事 藤原正弘

1 はじめに

わが国の水道は戦後急ピッチで整備を進め、今や普及率95.5%とかなり高い普及率になっている。しかし、現在稼動している施設の多くは21世紀において求められる機能からするとすでに限界に達しており、作り替えが必要になっているものが多い。首都圏、近畿圏など大都市近郊の地域では、原水の水質の悪化に対応する手段として多くの浄水場で高度浄水施設が整備されている。また、最近砂ろ過に替わる新しい浄水技術の膜ろ過技術が実用化され、次の時代の浄水技術として大きくクローズアップされてきている。阪神・淡路大震災の経験をもとに水道管路システムを耐震性の高いものに作り直すための事業も進められている。多くの地域でお湯水がかなりの頻度で生じており、地域によってはダム建設による水資源開発にあわせて海水淡水化による水確保も必要となっている。このようにこれからの水道は今まで経験したことのない新しい技術、事業にチャレンジしていかねばならない機会が増えてきている。

未来の水道はどうあるべきかは当然のことではあるが国民の期待に応える水道でなければならない。厚生省では平成3年6月に「ふれっしゅ水道計画」というものを打ち出し、将来に向けてめざしていくべき水道システムの姿を示している。ふれっしゅ水道では我が国の水道の今後の目標として、次の五つを掲げている。すなわち、

- (ふ) 普及率向上で国民皆水道達成
- (れ) レベルアップで高いサービスの水道
- (つ) 強く地震・湯水に負けない水道
- (し) 信頼できる安全でおいしい水道
- (ゆ) ゆとりある安定した水道

この方針に沿って水道事業者が事業を実施しやすくするように厚生省では財政支援のための制度（高度浄水処

理事業や管路近代化事業など各種の国庫補助制度）を導入している。また、将来の水道の技術の開発という観点から「マック21計画」など各種研究開発のプロジェクトも実施されてきた。これらは未来型水道へのアプローチと言える。以下においてこれらのうち筆者が関係しているものについていくつかを紹介する。

2 砂ろ過に代わる浄水技術

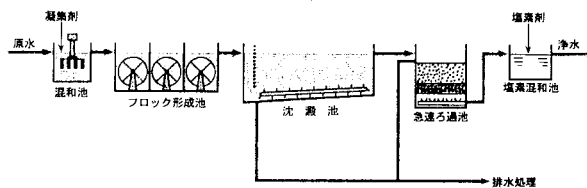
緩速ろ過、急速ろ過という砂ろ過方式は近代水道発祥以来今日まで水道浄水のメインの技術であったし、今後もおお多量の水道で採用されるに値する技術であるが、膜を利用した浄水技術が水道事業にとって実用的なものとなれば水道の世界は大きく様変わりする。膜の技術はハイテク産業用の超純水製造や医療の透析等の分野で一般化してきているが、膜を利用した浄水技術が水道事業にとって実用的なものでありうるかどうかは未来型水道を考えると時の筆頭の関心事である。“マック21計画”という国家的研究開発プロジェクトが実施され、確かめられることとなった。このプロジェクトは平成3年～8年までの6年間厚生省の補助金を核として（財）水道技術研究センター（旧水道浄水プロセス協会）が中心になって実施したものであるが、国、水道事業者、大学・研究機関、企業が協力をして実施した大型プロジェクトであった。前半の3年間では、砂ろ過に代わる新しい浄水方法の研究ということで、UF膜（限外ろ過膜）又はMF膜（精密ろ過膜）を利用した原則として粒子状の物質の除去を対象にしたシステムの実証研究がなされた。研究の結果、濁度と大腸菌群の除去などに適用可能な技術であることが実証され、また、最近問題になったクリプトスポリジウムの除去にも当然ながら効果があることが明らかとなった。これにより事業者が導入するにあつ

でのガイドラインがまとめられた。後半の3年間は農薬や有機塩素系化合物なども処理対象にナノフィルターを用いた高度処理システムの実証研究が行われた。この実証研究もこの3月に成功をおさめ終了した。

膜利用型の浄水方法は、図1に示すように、砂ろ過施設がなくなるほか、凝集・フロック形成施設が不要になるが、膜ろ過施設のほか前処理施設が必要となる。単位

水量当りの建設コスト、運転コストなどから今のところ小規模の水道事業に有利だといえることができるが、その処理性能のほか維持管理の自動化などメリットも多い(表1参照)。厚生省では平成7年度から簡易水道事業、上水道事業に国庫補助対象事業として認めており、既にかなり多くのこの方式による事業が実施されている。

1) 急速ろ過方式の基本処理フロー



2) 膜ろ過法の処理フロー例

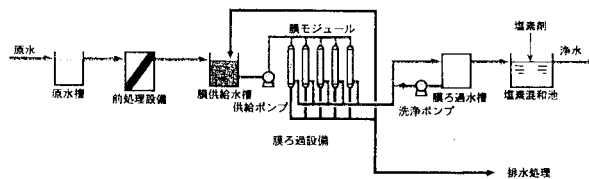


図1 膜ろ過法と従来法との処理フロー比較

表-1 従来法と膜ろ過法の維持管理性の比較

項目	従 来 法		膜ろ過法
	緩速ろ過法	急速ろ過法	
運 転 管 理	比較的容易	原水の水質に対応した高度な技術が必要	容易、機械部分が自動化されている
	砂の入れ替えが必要 砂削りが必要	砂の入れ替えが必要 濁質の漏出管理が必要 沈殿池の清掃が必要	膜の薬品洗浄が必要 膜の交換が必要
凝集剤注 入	必要なし	原水の水質により凝集剤注入率が変わる 凝集剤の選定が必要	凝集剤注入する場合は厳密な管理を必要とせず、自動化が可能
技術者	特に高度な技術者は必要でない 砂削りの作業員が必要	高度な熟練した技術者が必要	特に高度な技術者を必要としない
維 持 管 理 費	砂削り作業以外は特に経費がかからない	薬品費、電力費などの費用がかかる	電力費、薬品費以外に膜交換費が必要になる

後半の3年間のプロジェクトは“高度処理マック21計画”というように名づけられ、実施されたが、このプロジェクトは、UF膜（限外ろ過膜）、MF膜（精密ろ過膜）を利用したシステムで濁度と大腸菌群の除去が可能であることが実証されたことを受け、引き続いて、ナノフィルターという膜を利用した微量の有害物質なども処理対象にする浄水システムについて実証研究が行うものであった。これにおいては、通常の浄水処理では除去できないトリハロメタン前駆物質、農薬や有機塩素系化合物、異臭味、さらにはウイルス等の除去をも可能とするより高度の膜ろ過浄水処理システムの開発を目指し、ナノフィルター（NF）と付加的に用いるUF膜（限外ろ過膜）、MF膜（精密ろ過膜）のいくつかの組み合わせが実験された。具体的には、A系列（MF（無機）+NF）、B系列（MF（有機）+NF）、C系列（UF+NF）、D系列（汚泥実験装置）の4つの系列についての実験がなされた。

以上のように、高度処理マック21計画はナノフィルター（NF）の技術を活用した新しい高度浄水技術についての実験研究であったが、有意義な結果を得てこの3月に終了した。今後、事業体で導入を考慮する場合におけるガイドライン（膜ろ過高度浄水施設導入ガイドライン案）という形でとりまとめが行われる予定である。

浄水技術への膜技術の導入は最近の水道界にとって最大の変革である。未来の水道を考えると、安全性、省力化は避けて通れない検討事項と考えられるが、膜技術はこのような点から今まででなかった新しい可能性を提供するものとして大きく注目されるべきものである。

3 おいしい水と水資源の確保

(1) 高度浄水処理

水道の水が臭い、不味いという苦情が近年増加している。安全でおいしい水を供給するというのが未来の水道の最大の使命といえることができる。安全でおいしい水を供給するための第一の条件は水源の水質がきれいに保たれることであるが、現実にはそれは容易でない。むしろおいしい水に対する国民の要求そのものが高度化してきており、今までよりもっと高度に処理されたい水質の水道水を飲みたいというようになってきている。平成5年には全面的に見直された水道の水質基準が適用になっているが、おいしい水の基準に関係する快適水質項目というものも設けられている。この新基準に合致するよう必要な浄水技術を改良がすでにいくつかの水道で実施さ

れてきた。大都市やその周辺地域などで水源の水がいろいろな原因で汚染してきている場合などは、多くの水道事業体でとくに異臭味被害の防止という観点から高度浄水処理が導入されてきている。一般的に、現行の砂ろ過浄水方法に活性炭処理、オゾン高度処理、生物処理、またはその組合せを付加する方法が採用されている。活性炭処理、オゾン処理、生物処理などをどのような組合せでどの位置に設けるかにするかによって、また、活性炭処理に当たって汚染物を吸着した活性炭を更新の方法、あるいは微生物の吸着を前提とした生物活性炭処理法と位置づけるかなど高度浄水処理にも内容に差がある。

このような高度浄水処理をすることは、安全でおいしい水確保対策に効果がある。有害物質除去に関しても物質によって非常に大きな効果が発揮される。微量の重金属や化学物質などの汚染物質は種類が多いので、どの程度改善されるかは、物質ごとに今後なおお見の集積を待たねばない面がある。しかし、高度処理により原水中に含まれる有機物質やカビ臭の原因物質を除去することができるので、消毒による副生成物質（トリハロメタンなど）の生成を抑制することができるほか、カビ臭や特有の異臭味を除去することができることは明らかである。原水の汚染に悩むいくつかの水道事業体ではこのような浄水処理技術についてそれぞれ実用化実験を実施したうえで、実プラントを設置している。厚生省では国庫補助により水道事業体が高度浄水処理の事業を実施しようとする場合支援している。今まで、表2に示すように全国のかかなり多くの浄水場で高度浄水方式が採用されている。荒川水系や淀川水系等から取水する水道事業体、例えば東京都、千葉県、大阪府、京都府、大阪市、阪神水道企業団などや沖縄県等の水道事業体で施設整備が行われている。今後より安全なそしておいしい水ということを前提にして高度浄水処理が他の多くの場所でも実施されることが予測される。

(2) 海水淡水化

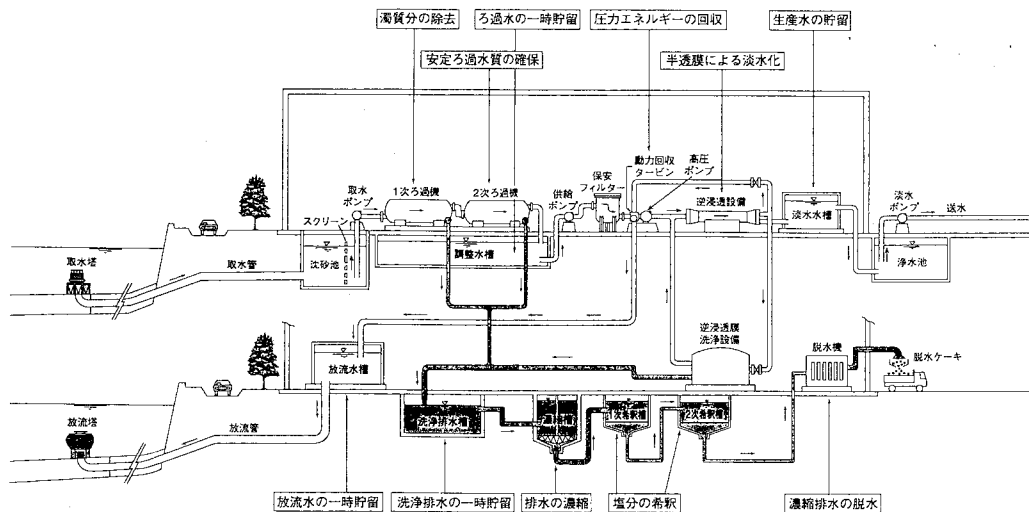
海の水から飲料水や生活用水をつくる海水淡水化の技術は、降雨量が少なく海が近い国々、例えば湾岸諸国等では比較的早くから採用されていた。我が国でも小規模の海水淡水化プラントは従来から離島等で採用されてきており、これらは簡易水道用の浄水プラントとして国庫補助により整備されていた。しかし、大規模な上水道事業において海水淡水化施設を整備するような事例は従来なかった。これは技術の問題、コストの問題がネックになっていたからであるが、この度、日量4万トンの施設

表-2 全国における高度浄水施設導入状況
(平成6年度時点)

地方	高度処理の方式			計
	生物処理	粒状活性炭	オゾン+粒状	
北海道	0	0	0	0
東北	0	2	0	2
関東	0	8	5	13
中部	0	6	0	6
近畿	4	4	5	13
中国	0	1	0	1
四国	0	1	0	1
九州	2	7	0	9
沖縄	0	0	1	1
合計	6	29	11	46

規模の海水淡水化プラントが沖縄県営水道で建設され供用開始された(図2参照)。逆浸透膜法という新しい海水淡水化技術が開発され実用化されたことと、それによって運転コストも従来よりかなり低減が見込まれることなどが背景にある。平成4年度から新しく国庫補助制度が導入され、これに基づく第一号として沖縄県営水道でこの事業が開始されたもので、平成9年3月に完成したが、この施設は我が国最初の大規模の海水淡水化施設ということで内外から大きな関心を集めている。水資源開発をダム建設でなく海水淡水化によることとした実質的に我が国最初のケースといえることができる。この沖縄県のケースは人口1人当りの総降水量が少なく、過去渇水が頻発していること、小河川が多く流域面積が小さく、ダム建設の適地が少ないこと、周辺にきれいな海水があることなど採用に当たっての必然的理由があった。本計画では生産水(硬度10mg/l以下)の4万トン/日を隣接する浄水場の硬度の高い(150~200 mg/l)陸水系浄水約21万トン/日とブレンドしている。

淡水化プラント建設の総事業費は347億円で、水1トンあたりのコストは動力費などランニングコストを含め



出典:平成5年沖縄県企業局編
「海水淡水化施設のあらまし」

図2 海水淡水化プラントの一例(沖縄県北谷浄水場)

ると約170円(建設費に国庫補助金が入らないとして考えた場合は344円)といわれている。この事業の成功により今後類似の条件下にある都市で海水淡水化の採用の検討が進むものと思われる。

4 直結給水

わが国の水道は従来一般に二階まで水が上がるように作られており、通常、三階建以上には直接水が上がらないが、将来の水道を考えた場合例えば5階または10階ぐらいまで直接水が上がるような水道が望ましい。今後このような水道に作り替える方向で各地で努力がなされることとなろう。外国の例を見ると、例えば、サンフランシスコは6階程度、ロサンゼルスは5階程度、フランクフルトは5階程度、パリは8階程度まで直結給水されている。わが国で前述のような水道が作られてきたのは、当時日本の都市形態としては平屋または二階建の建物が大半であったことと、高い配水圧に耐えられる丈夫な配水管の整備が、限られた資金でできるだけ水道の普及を促進するという観点からは難しかったことなどによる。3階以上に水を上げようとすると一旦水道の水を受水槽に受け、ポンプアップすることが行われている。これには地下に受水槽と屋上に高置水槽が必要だし、そのことによる色々な問題点もある。直結給水のメリットは、受水槽や高置水槽に生じ易い水質劣化の問題が避けられるということのほか、建物の空間節約や美観の上からも望ましいこと、給水点で有しているエネルギーを受水槽で殺してしまわないで済むので省エネの観点からも有利なことなどがあげられる。また、高い配水圧によって火災時に消火栓から大量の水をとる時の給水管等の水圧を負圧にしてしまうような問題も抑制することができる。それでは、直結給水にするためにどのようなことをすればよいのかということであるが、今の水道システム全体を高い配水圧と新しい配水管網を有するものに作り替えていくことになる。しかし配水管網を高い水圧に耐えるものに全部作り替えるということは大変な費用と時間がかかるので、長期戦略としてそういう方向をめざしつつ、併せて増圧ポンプ方式による直結給水方式の採用が実用的と考えられている。マンションやビルなど特定の建物を対象に増圧ポンプで水圧を上げ直接給水する方式である。従来こういうやり方は配水本管を負圧にする可能性があることからやるべきでないと言われていたことであるが、そのような問題を生じさせない技術的な装置と方法について国による研究開発が実施された。これは、(財)

水道技術研究センターが厚生省から委託を受け産・官・学の共同研究を実施したもので、増圧ポンプと逆止弁と制御装置の組み合わせによるシステムのフィールド実験であった。この研究開発実験は成功し、この結果から、この方式による直結給水システムを採用する場合の具体的実施方法を示すガイドラインが作られた。また、厚生省でも直結給水拡大のための管路整備事業を支援しているので、各水道事業体での取り組みが加速されるものと思われる。

5 地震に強い管路システム

水道の管は人間でいうと血液を体中へ配る動脈血管にあたるので、その機能は断絶させるわけにはいかない。仮に断絶したとしても迅速に修復できる体制が必要である。そのためには絶えず配水管網の機能のチェックをしておかねばならない。例えば、老朽管は更新しなければならない。わが国の水道管の総延長は現在では約50万kmとなっているが、このうちのかんりの部分が老朽化しているので、老朽管更新事業は今後の水道にとって大きくかつ重要な問題である。阪神・淡路大震災の際の経験から地震に強い水道システム作りが強く意識されはじめたが、地震に強い水道システム作りのためには老朽管更新は最も基本的なことである。また最近耐震性能を有する水道管も開発されているので、これらの普及を促進していくことも効果的である。

前述のような対策を進めるにしても、水道施設が地震時に被災した場合、被害場所が無であるということは想定できない。現実的には、被害箇所をどのように早く見つけ出し修復することができるかということが勝負であることが先の大震災の経験から明らかとなった。そこで、施設被害をあらかじめ科学的に予測する技術、地震時に被災した場所の迅速、的確な探査技術が開発される必要がある。このため、(財)水道技術研究センターでは、関係企業(10社)の参加を得、厚生省の研究補助金を核とし、学識経験者等で構成する共同研究委員会を設け、「地震による水道被害の予測及び探査に関する技術開発研究」というプロジェクトを開始した。このプロジェクトでは、損傷探査技術を研究する第一分科会と被害予測を研究する第二分科会が設置され平成8年～10年の3年間実施されることとなっている。

ライフラインとしての水道は地震に対して強いものであるべきというのは国民の願いでもと思われるが、未来の水道はそのようなものに近づいて行かねばならぬ

い。

6 水道データベース

現在、世の中は情報化社会と呼ばれており、情報の収集、提供、管理をどのようにやるかが重要な課題となっている。水道の分野でもコンピュータを用いた情報の管理が重要だと考えられるのは事業経営の面、市民PRの面、危機管理の面などで迅速で適切な情報の確保提供が今後必要と認識されるようになっていられるからである。情報通信の世界は日進月歩で、昔前には実施できるとは考えられなかったようなことが今では現実のものとなっている。今できないと考えていることが将来は可能になっていることも少なくないであろう。未来の水道を考える場合、水道に関係する色々なデータが蓄積され、誰でもいつでも迅速にそれが利用できるシステムが不可欠と考えられる。そのような考え方から（財）水道技術研究センターでは厚生省の補助（4億4千万円）を得て水道データベース（愛称アクアデータ）を構築した。その目的は、水道事業者、厚生省、大学、関係団体、企業等が保有する各種の情報データを共通のデータベースとして活用していくことにある。アクアデータの有している機能は次のようなものである。

- ①厚生省の調査情報 … 厚生省が毎年行っている調査など。表、グラフの形で見ることができる。
- ②水道関係図書情報 … 水道関係の図書の所在、抄録、全文。
- ③トピックス（掲示板） … 水道界の催しや行事、専門紙の記事、厚生省の会議資料など。
- ④会員のひろば … 会員同士の情報交換の場
- ⑤関係ホームページへのリンク … 厚生省や水道事業者等のホームページへリンクする。
- ⑥ホームページ「日本の水道」 … 家庭、学校、職場などで役立つ一般的水道知識。
- ⑦電子メールアドレス帳 … 会員相互のメール交換が簡単に行える仕組み。

このデータベースにはインターネット、VAN、電話回線のいずれの方法でもアクセスすることができる。ユー

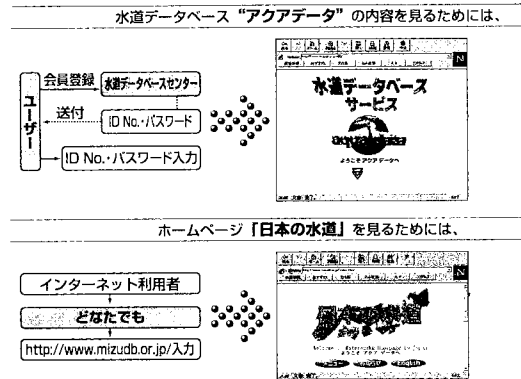


図3 水道データベース（アクアデータ）

ザは、会員登録をして利用する利用者と一般国民誰でもという2種類のユーザの形式（図3参照）があって、若干利用できるデータの範囲が異なる。しかし現在両方とも利用料は無料でやっているの、できるだけ多くの人に利用していただきたいと願っている。このデータベースは水道関係のデータをできる限り幅広く収録しているが、全ての範囲のデータをカバーしているわけではない。将来、関係機関でそれぞれデータベースが作られ、これらがネットワークで有機的に結び付けられ相互に利用できる形態を期待している。

7 おわりに

本稿は、本年5月15日の「環境システム計測制御学会」講演会での筆者の講演内容を基にし、我が国の水道にとって次の時代の新しい技術と考えられる技術のいくつかについて紹介した。

我が国の水道は更新の時期に差しかかっているものが多く、更新計画は、次の時代における水道のあり方を十分よく考えて行われる必要がある。新しい水道の技術がどんどん芽生えつつある時代を迎えたのはこういう社会状況にあることが背景にあると思われる。百年の歴史を有する我が国の水道もこのような新しい技術とともに今後大きく変わって行くことが予想される。