

水処理技術の技術概要

1. 水処理技術作成の範囲・まとめ方

1-1 単位操作

1-2 造水プロセス・装置

2. 単位操作の技術概要

3. 造水プロセス・装置の技術概要

1. 水処理技術作成の範囲・まとめ方

本標準技術集の対象技術は以下の通りである。

- (1) 水処理技術は、物理化学的水処理、生物学的水処理および汚泥処理に大別されるが、その技術分野は幅広いため、今回の調査対象技術は「物理化学的水処理技術」に限定した。
- (2) 実際の水処理においては、「単位操作」を複数組み合わせた「プロセス」として実施される場合が多い。本調査では、技術の集約・体系化において、不純物及び汚濁物質除去のための要素技術を単位操作とし、これらの要素技術の組み合わせたプロセスを造水プロセス・装置として大別した。
- (3) 近年の特許出願動向として、浄水器・整水器等の高品位な飲料水等を製造する技術に関するものが増加する傾向にあるため、本分野に関する技術も対象とした。
- (4) 「機能水」とよばれる特殊な機能を有する水を製造する技術(整水技術)がある。本分野の技術は、非常に先進的ではあるが科学的根拠が明らかにされているものが極めて少ない。そこで、公的機関による認定制度がある電解水および半導体産業等で実績がある機能性洗浄水を対象とした。
- (5) 標準技術として選定した技術は、既に実用化されているもの、または実証段階に達しているものを中心として選定した。

1-1 単位操作

物理化学的処理による単位操作をその要素技術即ち不純物及び汚濁物質除去の原理並びに物理的、化学的メカニズムにより中分類とし、更に中分類を装置の構造、型式、操作条件などに具体的に分類し、小分類とした。

中分類としては凝集、沈殿、ろ過、膜分離、吸着、イオン交換等の各種の要素技術があり、その技術により除去対象物質は浮遊物質や無機物、溶解性物質など異なる。表-1に、単位操作に関する技術項目を中分類とし、更にそれらの構造、型式、操作条件により分類した小分類で構成する樹形図を示す。

表-1 単位操作技術分類

大分類	中分類	小分類	
単位操作	粗大浮遊物分離	スクリーン	
		遠心分離	
		その他	
	凝集	沈殿・浮上	凝集剤
			注入・攪拌
			フロック形成
			薬品注入制御
			沈殿
			浮上

	磁気分離	フェライト法
		高勾配磁気分離
	ろ過	ろ層
		ろ過方式
		集水方式
		流量調整方式
		洗浄方式
	膜分離	膜材質
		膜構造
		膜エレメント・モジュール形状
		吸引型と加圧型
		膜の種類
		運転方式
		洗浄方式
		損傷検知
		膜分離装置
	酸化・消毒	消毒剤
		オゾン
		紫外線
		促進酸化
	析出	凝析
		晶析
	吸着	吸着剤
		吸着装置
		再生方法
	イオン交換・キレート	イオン交換体
		イオン交換塔の構造
		処理方式
		再生方式
		キレート剤
	電気化学	電気凝集
		電気透析
		電気分解
	蒸発	多段フラッシュ法
		多重効用法
		蒸気圧縮法
		スプレーフラッシュ法
	ガス分離・溶解	ガス分離
		ガス溶解

1-2 造水プロセス・装置

造水プロセス・装置は個々の要素技術（単位操作）による一連の設備を組み合わせ、水処理のシステム、プロセスをまとめた。造水プロセス・装置の場合は、製造される水の水質レベル即ち用途による分類を中分類とし、その製造プロセス及び製造方式による分類を小分類とした。表-2に、造水プロセス・装置の樹形図を示す。

表-2 造水プロセス・装置技術分類

大分類	中分類	小分類
造水プロセス・装置	浄水プロセス・浄水器	浄水プロセス
		浄水器
		簡易浄水器
	産業用プロセス・装置	純水・超純水
		電解水
		機能性洗浄水

2. 単位操作の技術概要

2.1 粗大浮遊物分離

粗大浮遊物分離技術とは、浮遊した比較的大きい固形物を除去する技術であり、スクリーンと遠心分離が主体となる技術である。

スクリーンは、水中に浮遊した粗大な固形物を物理的に除去する設備であり、上水道、下水道、排水処理、各種産業、農業など広い分野で取水設備に用いられる基本的な装置である。

遠心分離は、遠心力を利用した分離機であり、流入する液体の旋回力により生ずる遠心力を利用して分離を行う。

2.1.1 スクリーン

最も単純な構造といえるものはバースクリーンで、普通は金属製のバーを一定間隔に固定しその隙間を通らない浮遊物を除去する。このバーの隙間を目幅と呼び、細目は25～50mm程度と粗目は50～150mm程度がある。

ドラムスクリーンはスクリーン面が回転することで、常に分離面がクリーンであり、コンパクトで大きな処理能力、高濃度の処理を可能とする。

ストレーナは細かい土砂、ゴミ、プランクトン等細かい浮遊物の流入の防止を目的とする。装置がコンパクトで、配管に接続が可能で設置必要面積が少ない、維持管理費が安いなどの特長がある。

ウエッジワイヤは河川水などの取水装置として使用される。構造は、逆三角形の断面をしたバーを等間隔に並べて目（スリット）を形成するもので、目詰まりが少なく、メンテナンスフリーである。

ノッチワイヤは、突起のついたステンレスワイヤをカゴ状の枠に巻きつけた構造である。ノッチワイヤエレメントは単層構造のため、大きな通過面積を確保することが可能である。

2.1.2 液体サイクロン

遠心力を利用した分離機の一つであるが、それ自体が遠心力を生じさせるものでなく、流入する液体の旋回力により生ずる遠心力を利用して分離を行う装置である。特徴としては、微粒子の分級、補集、濃縮に適用でき、効率が高いこと、可動部分がなく、構造簡単で分解、組立が容易であること、床占有面積当たりの処理能力が大きいことなどがあげられる。

2.1.3 その他

スワールは、流体の渦流を利用して粗大な来雑物や汚泥を分離する設備である。本体内に導かれた来雑物、SS は、渦流により中心部に引き寄せられ、処理水はスクリーンを抜けて放流される。

2.2 凝集

凝集とは、原水中の濁質のうち、コロイド粒子を凝集剤の添加により沈殿可能なフロックにする操作である。

水中に浮遊している微粒子が微細な場合、沈降速度が小さく、長時間放置しても自然沈降しない。これは、原水中の粘土、細菌、ウイルス、色コロイドなどの微粒子がその表面にマイナス(-)の電気を帯びており、マイナス電気同士で反発しあっているため、結合することなく安定しているためである。

沈降分離では硫酸アルミニウムやポリ塩化アルミニウムを凝集剤として用い、加えられたアルミニウムは加水分解して分子量の大きなプラス(+)の電気を帯電した水酸化物になる。このプラスに帯電した凝集剤とマイナスに帯電した微粒子を混和させると、電気的中和が起こり、微粒子相互の反発力がなくなり、フロック化する。

2.2.1 凝集剤

凝集剤には無機系（アルミニウム系・鉄塩系）、無機高分子系（活性ケイ酸・ポリシリカ鉄）、天然有機高分子系（アルギン酸ソーダ・キチン・キトサン系・バイオ凝集剤）、合成有機高分子系（カチオン・アニオン・ノニオン系）がある。

無機系ではポリ塩化アルミニウム（PAC）が一般に硫酸アルミニウムに比較して優れた凝集性を示し、適用 pH 範囲も広い。そのために、日本の浄水施設では PAC が多く使われている。

無機高分子系では活性ケイ酸やポリシリカ鉄(PSI)があるが、PSI はトリハロメタン前駆物質の指標である紫外吸光度（E260）の除去性能は、低温時においては PAC より優れている。PSI の問題点は、長期間保存することが困難なことである。

既存の無機系凝集剤は体内で分解されず残留が確認されており、ヒトの健康や生態系への悪影響が懸念されている。そのため天然有機系の高い凝集力を示すバイオ凝集剤の開発が進められている。

合成有機高分子系にはカチオン、アニオン、ノニオン性の凝集剤があり、適用用途はカチオン性高分子剤は水産加工廃水処理、アニオン系凝集剤は紙・パルプ工場廃水、金属・機械工場廃水、選鉱廃水、めっき廃水など、ノニオン性凝集剤は砂利・粘土採取廃水、選鉱廃水などである。

2.2.2 注入・攪拌方式

凝集剤添加のための注入方式には、大別すると定量注入ポンプ方式と調節弁方式がある。攪拌方式には外部から機械的エネルギーを与える方式と水流自体のエネルギーによる方式がある。

2.2.3 フロック形成

フロック形成方式には、機械攪拌方式（縦軸型、水平軸型）、上下う流方式、水平う流方式がある。

2.2.4 薬品注入制御

薬品注入制御システムとしては、手動制御、定値制御、流量比例制御、フィードバック制御、フィードフォワード制御、カスケード制御がある。

2.3 沈殿・浮上

沈殿及び浮上分離はいずれも重力を利用した分離法である。

沈殿は、重力によって、水中の成分のうち粒子性成分が沈降する現象である。水処理においては、粒子の沈降効率を高めるさまざまな工夫を行っている。沈殿には、単に自然沈殿させる場合と、凝集を前段に付加して凝集沈殿させる場合がある。

浮上分離は、水中で比重の小さい物質が浮上する現象であり、粒子に微細気泡を付着させるなどにより浮上させて、上部から液体や固体を回収することによって分離する方法が一般的である。浮上分

離効率を

高めるために、凝集を併用し、粒子を粗粒化してから浮上分離することがある。

2.3.1 沈殿

凝集沈殿池には傾斜板沈殿池と傾斜管沈殿池がある。いずれも沈殿池内に傾斜板等の沈降装置を挿入して、一種の多階層式沈殿池を構成し、除去率を高めるものである。

高速凝集沈殿池には、スラッジブランケット方式、スラリー循環方式、その複合方式と微粒砂を用いて行う超高速凝集沈殿処理がある。

2.3.2 浮上

浮上分離は、粒子群に強制的に微細気泡を付着させて、水面上部に浮上させ、異質液や固液の分離を行う操作である。具体的な方式としては、常圧下で機械的に気泡を微細化する方式、加圧状態の空気を水中で常圧にすることで発生する微細気泡を利用する方式、電気分解を行い発生したガスに付着させて浮上させる方式などがある。

2.4 磁気分離

除去物質に磁気を与えて除去する処理方式である。

2.4.1 フェライト法

重金属イオンを、強磁性のフェライトにした後、磁気で分離除去する方式である。

2.4.2 高勾配磁気分離

バルク超電導磁石の高い磁気勾配によって作用する強い磁気力により、磁性フロックを円筒体表面に磁気吸引して分離する方式である。

2.5 ろ過

浄水施設で使用されるろ過技術は、急速ろ過と緩速ろ過に大別される。

急速ろ過は、原水中の懸濁物質を直接または凝集・沈殿処理した後に、粒状層に比較的速い流速で水を流し、ろ材への付着とろ層でのふるい分けにより濁質除去を行うものである。ろ層での懸濁物質除去の機構は、二つの段階に分けて考えられ、第一は、懸濁粒子が流線から離脱してろ材の表面まで輸送される段階でのふるい分け作用と阻止作用によるものであり、第二は、粒子がろ材表面に付着して捕捉される段階である。

緩速ろ過は、ろ層とろ層表面に増殖した微生物群によって、水中の浮遊物質や溶解物質を捕捉、酸化分解することによる浄化方法である。

2.5.1 ろ層

ろ材には、粒子系ろ材と繊維系ろ材がある。粒子系ろ材としては古くからろ過砂が利用されてきた。そのほか、アンスラサイト、セラミック等がある。一方繊維状のろ材は短繊維系と長繊維系があり、その活用も増えてきている。

ろ層の構成には、一種類のろ材による単層ろ過と複数種類のろ材による複層ろ過がある。

2.5.2 ろ過方式

ろ過方式には緩速ろ過方式と急速ろ過方式がある。急速ろ過には重力式と圧力式があり、処理水の流れ方で、下向流、上向流、上下向流がある。

一般的には下向流固定床方式であり、圧力式ろ過と重力式ろ過がある。逆洗方式により、自己逆流洗浄型、逆流タンク保有型、逆流洗浄装置移動型、自動逆流洗浄型がある。上向流及び上下向流ろ過は浮上ろ材方式が一般的である。

2.5.3 集水方式

下向流固定床ろ過池には、ろ材の支持、ろ過水の集水、逆流洗浄水の均等配分等のために下部集水装置を設ける。その方式には有孔ブロック型、ホイラー型、ストレーナ型、多孔管型等がある。

2.5.4 流量調整方式

ろ過池の流入、流出流量の平衡、必要な砂面上水深の確保、ろ過速度の急激な変化の回避のために、ろ過流量を調節するための何らかの機構を備えていることが必要である。その方法として定速ろ過（流量制御、水位制御、自然平衡）方式、減衰ろ過（非カスケード、水位制御）があり、一般的に広く使用されているのは、定速ろ過方式である。

2.5.5 洗浄方式

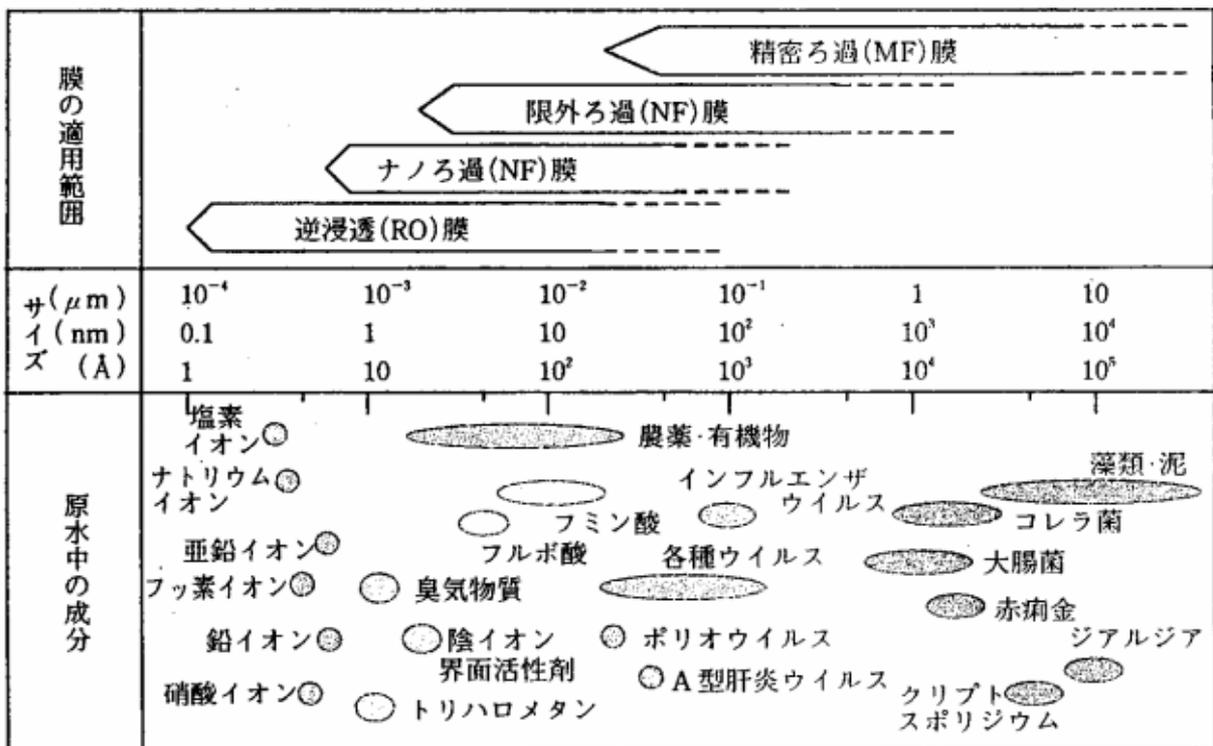
ろ過を行うことによりろ層内に濁質が蓄積していくため、それを除去するためにろ層の洗浄を行う。それが洗浄である。洗浄には表面洗浄と逆流洗浄がある。逆流洗浄に表面洗浄を組み合わせた方式が多く採用されている。必要に応じて空気洗浄を組み合わせる。

2.6 膜分離

膜分離とは、膜の有する孔の形状と大きさ及び膜の持つ物理的・化学的特性、処理対象物質の形状と大きさ及び物理的・化学的特性、ならびに圧力差などの駆動力の3つの要素の組み合わせによって行われる分離法である。

水処理の対象となる膜分離はその分離対象物質の種類やサイズによって精密ろ過膜（MF膜）、限外ろ過膜（UF膜）、ナノろ過膜（NF膜）、逆浸透膜（RO膜）などに分類される。

図-1 水中含有物質の大きさと各種膜の分離領域



2.6.1 膜材質

膜の材質としては、有機膜と無機膜に分類される。有機膜は有機高分子化合物を素材とする膜の総称であり、高分子膜、合成膜とも呼ばれ、酢酸セルロース、ポリスルホン、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリアクリロニトリル等を素材とし、相転換法、延伸法などによって作られる。無機膜は無機素材を焼結して作った各種のセラミック膜、カーボン膜、ガラス膜がある。

もう一つの膜の分類として親水性膜と疎水性膜に分類する方式がある。親水性膜は親水性の高い素

材で製造された膜や、膜表面を界面活性剤でコーティングした膜などである。親水性は表面の濡れやすさを示す指標であり、疎水性と対比させて使い分けられているが明確な区分はない。

2.6.2 膜構造

膜の構造は、素材、製造方法、製造条件によって異なり、対称構造（対称膜）と非対称構造（非対称膜）に分けられる。膜の断面構造が表裏対称になっている膜を対称膜という。これに対し、膜の断面構造が表裏対称になっていないのを非対称膜という。

2.6.3 膜エレメント・モジュール形状

膜のエレメント・モジュール形状としてはシート平膜、回転平膜、スパイラル膜、管状膜、中空糸膜、モノリス型膜がある。平膜のうち平面状のものをシート平膜、膜モジュール自体が回転するものを回転平膜、のり巻状に成形した膜モジュールをスパイラル膜と言う。管状膜とは、円管状に成形した膜で、管の内径が3～5mm以上のものを言う。中空糸膜は内径が0.8mm程度から数mm程度と小さく、キャピラリー膜又はホローファイバー膜とも呼ばれる。通常、多数本の中空糸膜を束ねて、片端あるいは両端を樹脂等で固定（ポッティング）して用いる。モノリス型膜は柱状に成形した複数の流路の内壁面に緻密層を形成した膜で、形状が一本の石柱（モノリス）に似ていることからこう呼ばれている。

2.6.4 吸引型と加圧型

膜の使用方法として吸引型と加圧型があり、吸引型は供給水が流入して来る水槽に浸漬させた状態で膜ろ過を行う方式である。膜ろ過差圧を自然流下で得るものとポンプによる吸引によるものあるいはこれらの併用がある。加圧型は膜供給原水に圧力をかけてろ過膜と通過後の処理水との圧力差によりろ過を行う方式である。現在行われている膜ろ過の大部分はこの方式である。

2.6.5 膜の種類

膜の種類としては膜の孔径の大きい方から細かい方に順に精密ろ過膜、限外ろ過膜、ナノろ過膜と言える。精密ろ過膜は100nm～10μm程度の粒子を分離除去する。ナノろ過膜の除去対象は、ナノメートルオーダーの分子である。逆浸透膜は逆浸透法の原理を利用したろ過を行う膜で、海水の淡水化等に利用されている。

2.6.6 運転方式

膜ろ過設備の運転方式はその制御方式により、一般的に、定流量制御（定流量型）と定圧制御（定圧型）の2つの方式がある。また、原液または原水を管状の内側に流し、膜面の外側にろ過液を流す方式を内圧ろ過方式と言い、その逆に外側に原液を流し内側に向けてろ過液が流れる方式を外圧ろ過方式という。

膜面に供給された原液を非透過液として排出することなく全量膜ろ過するのが全量ろ過であり、デッドエンドろ過とも言う。これに対し、供給原液が膜面に平行な流れを作り、膜を透過するろ過液が供給原液とは直角方向に流れるようにろ過する方式がクロスフローろ過である。

2.6.7 洗浄方式

膜の洗浄方式には、薬品を使用しないで物理的な方法で行う物理洗浄と、物理洗浄では取りきれないものを薬品を使って洗浄する薬品洗浄がある。物理洗浄には逆圧洗浄、スクラビング（空気洗浄）フラッシング、ボール洗浄などの方式がある。

2.6.8 損傷検知

膜の損傷検知の方法としては、処理水の濁度の変化、操作圧力の変化の検知等がある。

2.6.9 膜分離装置

大孔径膜、精密ろ過膜、限外ろ過膜、ナノろ過膜、逆浸透膜のそれぞれについて、実用化されている事例を示す。

2.7 酸化・消毒

酸化とは酸化剤により、水中の無機物及び有機物などの酸化または細菌、ウイルスなどの殺菌、不

活性化を行うプロセスである。酸化にはオゾン、塩素、過マンガン酸カリウム、二酸化塩素などのほか、紫外線も用いられる。さらに酸化反応を促進させる技術も開発されている。

消毒は、水道水が病原生物に汚染されず衛生的に安全な状態を維持するために行うことが水道法により規定されており、浄水施設においては、浄水方法の方式を問わず、また、施設規模の大小にかかわらず、必ず消毒設備を設けなければならない。水道法施行規則により給水栓水で保持すべき残留塩素濃度が規定されているが、厚生労働省令の快適水質項目の目標値としてその上限が定められている。

2.7.1 消毒剤

処理水の消毒剤としては塩素、クロラミン、次亜塩素酸ナトリウム、二酸化塩素、臭素系化合物が上げられる。日本国内では塩素系消毒剤が主に使用されている。

2.7.2 オゾン

オゾン発生方式は、紫外線方式、電気分解方式、放電方式などがあり、工業的には効率よくオゾンを発生するため放電による方法が用いられる。また、オゾン接触槽の方式として、水処理には散気管式(ディフューザ式)が多く採用されている。その他にエゼクタ型、下方管注入型、タービン型がある。下方管注入方式の原型とも言える U チューブ式エアレーターの歴史は古く、1950 年代後半に海外で水道ポンプ場の脱炭酸設備として実用化されたと言われている。タービン型は高濃度のオゾンを反応槽内に蓄積させる特徴がある。

2.7.3 紫外線

紫外線光源としては主に水銀ランプが使用されている。利用方法としては流体の中に紫外線ランプを配置する流水方式、流体とは接触しない非接触方式等がある。流水方式は、紫外線源となる発光ランプの周辺を処理水が流動して通過することにより殺菌などの処理が行われる方式である。

2.7.4 促進酸化

ヒドロキシラジカルを利用して酸化を行うのが促進酸化である。促進酸化にはフェントン法、光触媒法、ソノケミカル法やオゾン・紫外線・過酸化水素を組み合わせた方法がある。

2.7.5 その他の酸化方式

その他の酸化方式として、湿式酸化、亜臨界法、超臨界法などがあり、実用化されている技術もある。

2.8 析出

水中に溶解している成分を不溶化して分離する操作を析出といい、過飽和溶液から結晶を析出させる現象を晶析、原水中に電解質(たとえば水酸化ナトリウム)を加えて溶解している成分を不安定にして固形化して分離する処理を凝析と言う。水処理では、重金属の処理、硬水軟化、鉄やマンガンの除去、リン除去などに用いられる。

2.8.1 凝析

溶解している重金属イオンの多くは pH を上昇させると難溶性の水酸化物、炭酸塩を析出することができる。この現象を利用する操作をアルカリ凝析と言う。また、酸化剤による不溶化現象を応用した酸化法および接触ろ過法も凝析である。

2.8.2 晶析

晶析には、アパタイトを種晶としてリンを除去する晶析脱リン法やリン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)の結晶としてリンを回収する MAP 法、難溶性のフルオロアパタイト(FAp)を結晶析出させる晶析脱フッ素法などがある。

2.9 吸着

吸着とは、水中の溶解成分が固体表面に付着することをいい、凝集処理や生物処理で除くことができない色度成分などの有機物が低濃度で存在する場合の除去手段として広く用いられる。異臭味や残留農薬などの微量有害有機成分の除去や、界面活性剤などの化学物質の除去に極めて有効である。

2.9.1 吸着剤

吸着剤には吸着剤として代表的な活性炭のほか、有機系材料および無機系材料がある。

活性炭の原料は、石炭系（泥炭、亜炭、かつ炭、瀝青炭等）、木質系（ヤシ殻、木材、おが屑）、その他（石油ピッチ、合成樹脂（高分子）、各種有機灰等）に大別される。形状は粉末活性炭と粒状活性炭があり、粉末活性炭は、直径1～20nm程度の細孔が多く、粒状活性炭は10nm以下の細孔が多い。

また、活性炭の賦活法で主流を占めているのはガス賦活法で、ガス（水蒸気、二酸化炭素、空気、燃焼ガス等）により高温（700～1000）ガス化反応で、微細孔（直径10μm～200nm）を生成させるものである。その他に薬品賦活（塩化亜鉛、硫酸塩、リン酸等）等がある。

生物活性炭処理は、活性炭の吸着機能をより長く持続させる目的で、活性炭の吸着作用と共に活性炭層内に増殖した微生物により有機物を分解させるものである。有機系材料としてはイオン吸着膜がある。イオン吸着膜は、除去する不純物成分に応じて導入する吸着基を選定することができ、イオン吸着膜処理リンス水は、半導体デバイス製造の洗浄工程で使われる超純水の極微量不純物を低減することが実証されている。

無機系材料としては活性アルミナ、セリウム系吸着剤および二酸化マンガン等がある。活性アルミナは、ヒ素除去、フッ素除去に用いられる吸着材である。セリウムの含水酸化物は特定の物質に対し選択吸着性を有し、この吸着作用を利用した水処理法として、ヒ素除去とフッ素除去がある。二酸化マンガンは、浄水処理においてはマンガン砂のコーティング剤として使用されるほか、ヒ素の除去能力がある。

2.9.2 吸着装置

浄水施設で通常使用される粉末活性炭にはウエット炭（湿式、水分50%程度）とドライ炭（乾式、水分5～10%）の2種類がある。そのため注入装置も湿式と乾式の2種類がある。

粒状活性炭を利用した吸着装置には固定床式、流動床式および移動床式の3種類がある。固定床式吸着装置は、下向流で重力式開放型と加圧式がある。重力式は大規模な設備に適し、加圧式は中小規模の設備に適する。流動床式は固定床式と比較して損失水頭が小さく、頻繁な洗浄を必要としないなどの特徴がある。移動床型活性炭吸着装置は、完全に吸着した活性炭を取り出すので活性炭の利用効率は非常に高く、内部に構造物が一切なく極めて単純な構造である。また、通水速度も限定されず、小流量から大流量まで通水可能である。

2.9.3 再生方式

活性炭の再生方式は、熱による再生法と酸化分解、高温分解などの分解法があるが、熱による再生が分解による再生に比較して汎用性があるために再生法の主流となっている。

2.10 イオン交換・キレート

イオン交換とは、イオン交換能を持つ物質（イオン交換体）と水中に溶解した物質の間で可逆的にイオンの交換が起こる現象であり、イオン交換体と水中のイオンを交換することにより、目的とするイオンを除去するプロセスである。交換基の種類、解離の強弱などによって、陽イオン交換樹脂、陰イオン交換樹脂に大別され、さらに、陽イオン交換樹脂は強酸性及び弱酸性に、陰イオン交換樹脂は強塩基性と弱塩基性に分類される。

キレート剤とは、中心に金属イオンを挟むような形で、金属イオンと配位結合することができる化合物で、環構造をなすものはキレート環という。一般のイオン交換樹脂が金属イオンに対する選択吸着性をほとんど示さず、異なったイオンを同時に吸着するのに比べ、キレート剤は特異なイオン吸着能を持ち、特定の金属イオンを選択的に吸着する。

2.10.1 イオン交換体

イオン交換体には、イオン交換樹脂とゼオライトがあるがイオン交換樹脂が主流をなす。

イオン交換樹脂は、交換基の種類、解離の強弱などによって、陽イオン交換樹脂、陰イオン交換樹脂に大別される。さらに、陽イオン交換樹脂は強酸性及び弱酸性に、陰イオン交換樹脂は強塩基性と

弱塩基性に大別される。強酸性陽イオン交換樹脂は、標準架橋度のゲル型またはポーラス型樹脂が最も一般的に使用される。弱酸性陽イオン交換樹脂は、中性～アルカリ性で解離してイオン交換する能力がある。強塩基性陰イオン交換樹脂はアンモニウム基の形によりⅠ型（第四級アンモニウム基（トリメチルアンモニウム基））とⅡ型（第四級アンモニウム基（ジメチルエタノールアンモニウム基））がある。弱塩基性陰イオン交換樹脂は、酸性～中性で解離してイオン交換する能力があり、遊離鉍酸のほか、 NH_4Cl のような塩基性の塩のイオン交換が可能である。再生しやすく、化学当量的にわずかに過剰の再生剤しか必要としない。

ゼオライトは、ケイ素（Si）とアルミニウム（Al）が酸素（O）を介して結合した構造を有している。ゼオライトには天然物と人工物がある。ゼオライトには、陽イオン交換能、触媒能、吸着能などの性質を有することが知られており、この性質を利用して種々に利用される。

2.10.2 イオン交換塔の構造

イオン交換塔の方式として並流式、向流式および連続式がある。並流式イオン交換塔はイオン交換塔の原型とも言うべき構造であり、イオン交換樹脂の固定層に並流で脱塩工程、再生工程ともに下向流で通液される。向流式イオン交換樹脂塔は脱塩通液と再生液との流れの方向が互いに逆になっているものである。連続式は、従来の固定床式と異なり、イオン交換樹脂を固定（樹脂塔に固定）せず、連続的に通水を行う。しかも飽和吸着したイオン交換樹脂を別の塔に移動し、連続的に再生しては樹脂塔に戻すという連続方式のイオン交換樹脂塔であり、純水装置に多く採用されている。

2.10.3 処理方式

イオン交換樹脂を用いた水処理装置として、大きく分けて、硬水軟化装置と純水製造装置がある。

硬水の軟化は、カルシウム、マグネシウムなどの硬度成分を含む水をナトリウム型の強酸性陽イオン交換樹脂を充填した塔に通して硬度成分だけを除去するものである。脱アルカリ軟化は、アルカリ度の高い水を対象とする軟化処理で、アルカリ度にほぼ相当する分だけイオンも減少する。陽イオン交換樹脂のH型とNa型をうまく組合わせている点が特徴である。脱塩処理は、シリカ（ケイ酸）の除去を考慮しない場合に用い、強酸性陽イオン（カチオン）樹脂のH型塔を通した後、弱塩基性陰イオン（アニオン）樹脂のOH型塔を通し、さらに脱炭酸装置を通す。

イオン交換樹脂による複床式純水製造装置としては、2床3塔型、3床4塔型、重複2床型などの方式がある。2床3塔型純水装置は従来から最も一般的に使用されている純水装置である。再生と通水は、共に下降流にて行うのが普通である。現在稼動している純水装置としては最も数が多い。混床式純水製造装置は、塔内に強酸性陽イオン（カチオン）樹脂であるH型と強塩基性陰イオン（アニオン）樹脂のOH型を混合して充填した装置である。複床式の装置が無数に積み重なったものともいえる。その結果、高純度の純水が得られる。ポリリッシャ付純水製造装置とは、複床式純水製造装置の最終段にさらにイオン交換樹脂塔をつけて純水の純度を上げた設備である。

2.10.4 再生方式

イオン交換処理では飽和したイオン交換樹脂塔に再生剤を通水して再生するが、その再生方式に並流再生と向流再生の2方式がある。並流再生法とは、イオン交換樹脂塔の上部より下部に向かって通水し、飽和時には再生剤を塔上部より塔下部へ通水する。つまり通水と再生剤の流れ方向が並流になっている。並流再生法が古くから装置化されて今日に至っている。向流再生法では被処理水の流れが下向きの場合と上向きの場合の2種類がある。従って再生剤の流れは前者が上向き、後者は下向きとなる。

2.10.5 キレート剤

化学構造としてはキレート樹脂の配位基を構成する配位原子はN、S、Oが主であり、市販キレート樹脂として現在利用されている配位基はイミノジ酢酸型が一般的である。キレート剤の物理性状としては、結晶性粉末及び液状品、樹脂、繊維状キレート剤に大別される。キレート剤の用途としては、有害金属の除去、希薄溶液からの有価金属の回収、多成分金属系からの分離精製などがある。

2.11 電気化学

電気化学を応用した水処理技術であり、電気透析と電気分解に大別される。

電気透析は陽イオンを選択的に透過させる陽イオン交換膜と陰イオンを選択的に透過させる陰イオン交換膜を組み合わせ、電気的エネルギーにより無機イオンを除去するプロセスである。浄水処理ではかん水の脱塩、硝酸性窒素の除去などに適用される。

電気分解は、電解質溶液に直流電流を流し、電極面に化学変化を起こさせて、物質を分解することにより不純物質の除去を行うプロセスである。陽イオンが陰極、陰イオンが陽極に移動することによって電流が流れ、陽極では酸化、陰極では還元が行われる

2.11.1 電解凝集

電解凝集としては、鉄電解凝集方式がある。鉄電解凝集とは、鉄電解法により、リンや窒素などを吸着、凝集により除去する技術である。鉄電解装置は2槽の鉄電解槽と電源とで構成され、各鉄電解槽中に鉄電極が2対浸漬されている。

2.11.2 電気透析

電気透析の主要な要素となるイオン交換膜は、現在では特殊なイオン交換膜を除いては、スチレン・ジビニルベンゼン共重合体である。製造法、膜構造、構成する樹脂により分類される。製造法による分類は均質膜と非均質膜に別れる。構造による分類には、対称膜と非対称膜がある。構成する樹脂による分類ではスチレン系、アクリル系、縮合系、エンプラ系、フッ素系などがある。イオン交換膜の特性は、機械的強度、膜厚、イオン交換容量、電気抵抗、輸率などで表される。機械的強度は、破裂強度や引張り強度（破断強度、破断伸度）が用いられる。膜厚は通常は100 μm ～500 μm である。

イオン交換容量は、イオン交換基の電気等量数（meq）で表される。イオン交換膜の電気抵抗の単位は面積抵抗（ cm^2 ）が用いられる。輸率は、イオン交換膜の異種電荷イオンの選択透過性を表す。測定法により動的輸率測定と静的輸率測定がある。

電気透析槽は、陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を交互にスペーサーを介して多数組を積層し、その両端に1対の電極を配置して原水を濃縮水と稀釈水に分離させることによって不純物の除去などを行う装置である。構成は、現在では、フィルタープレス型の電気透析槽が多く用いられている。

電気透析装置にはバッチ式、連続式（ワンパス型）、連続式（FB型）、スパイラル型電気再生式等がある。バッチ式は小規模で脱塩率を高くしたい場合に利用される。連続式（ワンパス型）装置は、供給された原水が電気透析槽の脱塩室を一回透過して脱塩液として電気透析槽から連続回収される方式である。連続式（FB型）は原水を脱塩水循環槽に連続的に供給するとともに、電気透析槽の脱塩室には供給原水量以上の液量を脱塩水循環槽から循環供給して脱塩を行う方式である。

スパイラル型は、イオン交換体をイオン交換膜でサンドイッチするが、これを渦巻き状に巻き込み、モジュール化した構造である。電気を効率よく使えるため、高純度処理水を容易に得ることができ、モジュール化により、コンパクトに増設が可能である。

2.11.3 電気分解

電極には、チタン（Ti）材の上に電解触媒を設置した機能材料が用いられ、電解触媒機能、基材（Ti材）との電機的接合、物理的な強度、化学的な耐久性、製造コスト等が重要である。

電気分解方式は、他の方式に比べて分解工程で酸やアルカリなどの化学物質を使用しないという利点がある。さらに、COD低減効果も有するクリーンな水処理技術である。

電気分解を利用した処理法として、電解有機物分解、電解窒素除去などがある。

次亜塩素酸ナトリウムの生成方式には隔膜式と無隔膜式の二種類がある。小規模施設では無隔膜方式、大規模施設では隔膜方式が維持管理、経済性等の面で有利となる。

2.12 蒸発

蒸発は最も基本的な水処理法と言える。

被処理水を加熱又は減圧して蒸発させる。蒸発で発生した水蒸気中にはほとんど不純物が含まれな

い。蒸発の際に伴って容易にミストを効率よく除去し、水蒸気を凝縮させれば、純度の高い蒸留水が得られる。この原理を応用したのが蒸発法である。海水の淡水化にも応用される。

蒸発法は凝縮時に廃棄される熱の有効利用が重要となる。

2.12.1 多段フラッシュ法

蒸発法のうち最も実績が多い。フラッシュ蒸発とは、温度の高い液体の圧力を急激に飽和圧力以下に下げ、蒸気を発生させる蒸発方法である。

2.12.2 多重効用法

蒸発によって発生した蒸気を、より低温で操作している蒸発に利用する方法で、この利用を n 回繰り返すものを n 重効用と呼ぶ。蒸発缶には、海水の流動方向および伝熱面の形状と配置などにより水平管型、下降液膜型、プレート型などがある。

2.12.3 蒸気圧縮法

真空蒸気圧縮 (VVC) 方式は、機械の仕事で蒸気をヒートポンプ (圧縮機) で圧縮して熱効率を高める方式である。給液された海水は蒸発缶内の水平伝熱管群上に散布され海水が蒸発する。起動時には系外の熱源 (電気ヒーターなど) により加熱される。

低い温度の熱をより高い温度に汲み上げるシステムであるヒートポンプに必要なエネルギーを蒸気エゼクタにより圧縮するのがレヒート (RH) 方式である。RH 型海水淡水化装置は、蒸気エゼクタを利用した熱圧縮を水平管式多重効用蒸発器に組み合わせた装置である。

2.12.4 スプレーフラッシュ法

スプレーフラッシュ法とは、ある温度の液をその温度に対する飽和蒸気圧以下に減圧した容器内に、ノズルを通して直接放出して蒸発させるものであり、急速でより完全な蒸発を誘起することができる。

2.13 ガス分離・溶解

ガス分離・溶解とは、曝気により、空気と水 (液体) とを接触させ、各相中における物質の濃度分布が等しくなるようにし、各相間で物質を移動させて溶解物質を除去する技術である。

2.13.1 ガス分離

ガス分離には、ストリッピング、真空脱気、脱気膜、触媒樹脂などの処理技術がある。ストリッピング装置は、液状の原料や製品に混入溶解しているガスや揮発性成分を除去する装置である。空気吹込みとは曝気と称されるガス分離の技術の一種であり、空気と水 (液体) とを接触させ、各相中における物質の濃度分布が等しくなるようにし、各相間で物質を移動させる操作である。

蒸気吹込み型ストリッピング装置では、連続式真空単蒸留の各種の方式が多く用いられる。構造及び操作条件は、充填スプレー式などを用いたり、操作圧力も 10Pa 以下に及ぶ場合などさまざまである。

水が接触している気相を窒素に変え (すなわち、気相の酸素濃度を低下させ) ると溶存酸素が低下する。これが脱酸素法の基本原理である。脱酸素法として、静止型リアクター方式、エアレーター方式が提案されている。また、窒素式脱酸素法は、ノンケミカルであること、適用温度が高い (90 まで可能) 懸濁物質を含む水に対しても適用可能などの特徴を持つ。

真空脱気とは液体を真空状態にし、液体中に溶存している気体を分離する操作を言う。真空ポンプにより脱気塔内を真空状態にし、そこに処理液を注入し、脱気する。

脱気膜とは、気体は通すが液体は通さない膜と定義される。薄型中空糸膜がその主流となる。水中に溶存するガスは中空糸膜の内外間のガス濃度をドライビングフォースとして、非多孔質膜を透過して除去される。

透過気化膜とは、膜により液相を気相に変化させて透過分離する方式で、パーベーレションとして一般に知られている。パーベーレションは、膜を通して液体を蒸発させるという、いわば逆浸透法とガス分離法の間のような膜分離法である。浸透気化法とも呼ばれる。

触媒樹脂は、ポリスチレン系の強塩基性アニオン交換樹脂の表面にパラジウムを付加した触媒樹脂

であり、水素ガスの添加により常温下で溶存酸素を還元処理できる。触媒樹脂の水処理への適用として、溶存酸素、過酸化水素、ヒドラジンの除去がある。

2.13.2 ガス溶解

ガス溶解で主要な役割を果たすのが超微細気泡である。超微細気泡とは、マイクロバブル、ナノバブルと称される微細なバブルである。通常、マイクロバブルは直径が 50 μm 以下の微細気泡を言い、ナノバブルはマイクロバブルより更に直径の小さいものを指し、直径が 200nm のものを指す。超微細気泡には自己加圧効果、帯電性、微細気泡の圧壊という特徴がある。一方、マイクロバブルより大きい気泡を処理液中に送り込む装置が曝気装置である。古くから一般的にガス溶解に利用されている。

3. 各造水プロセス・装置の技術概要

3.1 浄水プロセス・浄水器

浄水プロセスは、要素技術（単位操作）を組み合わせることで成立するシステムである。浄水器は蛇口以降の流路に取り付ける比較的小型、簡単な装置である。

浄水方法（プロセス）の選定にあたっては、原水の水質、浄水水質の管理目標、浄水施設の規模、浄水施設の運転制御及び維持管理技術の管理水準等の状況考慮して総合的に検討する必要がある。

飲用の浄水方法の一般的な選定は、水道法で義務づけられている塩素剤による消毒に加えて、原水水質の調査結果から、不溶解性成分と溶解性成分に分けて浄水水質の管理目標値を定め、処理対象物質に有効な処理方法の中から、浄水水質の管理目標値まで処理するのに必要なものを適宜組み合わせていくことになる。

一般的に除去対象となる不溶解性成分としては濁度成分、藻類及び一般細菌や大腸菌群があり、溶解性成分としては農薬やその他の一般有機化学物質、消毒副生成物及びその前駆物質、さらに鉄、マンガン、硬度、フッ素、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、侵食性遊離炭酸等の無機物がある。

家庭で普及してきている浄水器は、一般的には活性炭と中空糸膜フィルターを通して浄化するタイプが多いが、逆浸透タイプのももある。

3.1.1 浄水プロセス

浄水処理フローを選定する際には、まず、不溶解性成分について適切な処理方法を選択し、さらに、必要に応じて溶解性成分の処理のための処理方法を組み合わせることが一般的である。

浄水プロセスは緩速ろ過、急速ろ過、高度浄水処理、膜ろ過、淡水化に大別できる。

急速ろ過は凝集沈殿池を設置しないマイクロブロック法と凝集沈殿池と急速ろ過の組み合わせによる方式に分けられる。

高度浄水処理のための単位操作には、「水道施設設計指針」によれば、活性炭処理、オゾン処理、生物処理、揮散処理および膜ろ過などがある。従って、凝集沈殿、急速ろ過、活性炭処理、オゾン処理、膜ろ過、生物接触ろ過方式の組み合わせにより、様々なプロセスを構築しうる。

膜ろ過には凝集沈殿・砂ろ過・膜ろ過方式の組み合わせにより、いくつかのプロセスがある。

淡水化プロセスは逆浸透膜によるプロセスと、電気透析によるプロセスがある。

3.1.2 浄水器

浄水方式には、活性炭方式、膜ろ過方式、逆浸透膜方式があるが、活性炭と膜ろ過（中空糸タイプ）の組み合わせが一般的である。

浄水器は通水容量に達したらカートリッジを交換する方式が通常であるが、高温のお湯を逆流させることで付着したサビ、アカなどを洗い流すと共に、活性炭が取り込んだ残留塩素を放出させ、活性炭を再生し、長期使用できるようにするものも出てきている。

設置方式には台所での据え置きタイプや壁への据付タイプ、アンダーシンク型やシャワーでの設置位置の違いによるタイプがある。

形状では、蛇口直結型、浄水原水一体型、浄水原水分岐型、浄水のみ型、ポット型などがある。

3.1.3 簡易浄水器

災害・非常用時の緊急用造水・浄水設備がいくつか提案されている。そのタイプは、井戸汲み上げ式浄水設備、可搬型浄水設備、移動型浄水設備などがあり、対象原水水質、処理能力、操作の簡便性、可能寿命などいろいろである。

可搬型浄水設備には、水中ポンプ、フィルター、膜ろ過装置、紫外線殺菌灯、塩素注入設備をコンパクトにまとめ、トラックで運搬できるようになっている設備もある。

3.2 産業用プロセス・装置

飲料用又は工業用水を対象とした上水と異なり、目的によりより高度の処理を行い、より高純度の水質が要求されるのが産業用の純水、電解水、洗浄用水であり、高純度の使用目的の明確な水は機能水と呼ばれている。

3.2.1 純水・超純水

ミネラルウォーター製造システムでは、膜ろ過方式が主流となっている。清涼飲料水の割水や茶系飲料の抽出水にはそれぞれの目的に合ったプロセスが採用されているが、通常は製品の味や風味を損わないために、活性炭とイオン交換による純水製造が採用されている。

一方、超純水の製造システムは、二次純水システム、サブシステムと呼ばれる。一次純水システムで水中の不純物をほとんど除去して得られた純水をさらに高純度化する。半導体産業などで使用される。

3.2.2 電解水

電解水とは、水道水や薄い食塩水などを弱い直流電圧で電解処理して得られる水溶液の総称である。

電解水は、使用目的により、主に洗浄消毒など衛生管理に使われる強電解水（強酸性電解水、微酸性電解水、電解次亜水）と飲用アルカリ性電解水（アルカリイオン水）に大別される。

強酸性電解水は、病原細菌や薬剤耐性菌に対する幅広く強い殺菌力が注目され、多分野で利用されている。微酸性水とは、水道水や薄い食塩水を電解処理して得られる強電解水のうち pH 値が 5～6.5 とわずかに酸性を示す電解水を示す。微酸性電解水は、従来は強酸性電解水との対比から弱酸性電解水と呼ばれていたが、厚生労働省の pH 領域の呼称に合わせてこの名称に変更された。

強アルカリ性電解水は、水道水と食塩を原料にして有隔膜二室型電解槽を用いて電解水を得るときに、陰極側に生成する pH が 11～11.5 の電解水を指す。電解槽の電極には白金チタン、隔膜にはイオン交換膜を用いる。アルカリイオン水とは、アルカリイオン整水器を用い、Ca 剤を溶出補充した水道水を有隔膜電解槽で弱電解することによって陰極側に生成する pH が 9～10 の電解水のことである。また、アルカリイオン水は、美味しい水としても知られている。アルカリイオン整水器には貯槽式と連続式の 2 種類があり、現在では連続式が主流となっている。

二つの電極間に隔膜がないと両極の生成物が混合することを防止するために隔膜を設置する。それが有隔膜二室型装置である。有隔膜二室式の装置としては、医療用具として薬事認可を受けている流水型、バッチ方式、カートリッジ電極方式などがある。有隔膜二室式電解槽の両極の間にある隔離を取り除いて一室の状態で行うのが無隔膜一室式電解槽である。無隔膜電解槽で電解すると両極の反応生成物が混和する。そのため無隔膜電解槽で食塩水を電解すると電解水は弱アルカリ性（pH8～9）を呈する。

有隔膜三室式電解槽は、飽和食塩水を入れる中央室を挟んで配置されている陽極室と陰極室に純水などを導入通過させることによって電解する方式である。電解槽の中央部に 2 枚の隔膜を置き、その間が一室となることによって三室式が構成される。

二室型二段電解方式は、二室型の電解槽を用いて食塩水等を電解するが、最初の電解において陰極および陽極で生成する電解水を今度は電極を切り替えて電解する方式である。この電解方式により過酸化水素を含むことを特徴とする酸素系電解水が得られる。

3.2.3 機能性洗浄水

機能性洗浄水には、炭酸水、オゾン水、水素水などが含まれる。

超純水中に炭酸ガスを溶解させると一部が解離して炭酸イオンになるため、超純水の比抵抗値が下がり帯電を防止することが出来る。これが炭酸水である。即ち、炭酸水には帯電防止効果があることになる。液晶、PDP等のフラットパネルディスプレイの製造における洗浄水となる。

超純水にオゾンを溶解したものがオゾン水である。水に溶けたオゾンは、自己分解を起こしやすいのでオゾン水の実用化の進展を妨げていた。しかし、直接溶解と気液分離の組合せ方式の開発により所定の濃度を維持したオゾン水を供給することが可能となっている。

水素水とは、半導体工業において洗浄工程に使われる超純水もしくは純水に、高純度の H_2 ガスを溶解した水である。水素水は、単独で使用されることより、超音波やアルカリ (KOH、 NH_4OH 等) と併用される場合が多い。

以上