

第1章 高度浄水処理に関する基本事項

1-1 高度浄水処理の定義等

1) 用語の定義

本技術資料で扱う主な用語の定義を表-1-1-1に示す。浄水処理方法の表記については、オゾン処理や粒状活性炭処理等の個別の浄水処理過程を「単位処理プロセス」とし、これらの単位処理プロセスを組み合わせた一連の浄水処理過程を「浄水処理フロー」と表記した。また、凝集沈澱+急速ろ過等の濁質の除去を目的とする浄水処理を「通常の浄水処理」とした上で、有機物やカビ臭等の溶解性成分の除去を目的とする粉末活性炭処理、粒状活性炭処理、オゾン処理、生物処理の一つまたは複数を組み合わせた浄水処理方式を「高度浄水処理」と表記した。なお、粉末活性炭処理は一般的には高度浄水処理に分類されないが、通常の浄水処理に対して特別に付加した単位処理プロセスであることや、高度浄水処理の一つである粒状活性炭処理を将来的に導入することを検討する浄水場の多くが、その導入前に粉末活性炭処理を行っていることから、ここでは高度浄水処理として取り扱った。

表-1-1-1 本技術資料で扱う用語の定義

用語	定義
単位処理プロセス	凝集沈澱、急速ろ過、粉末活性炭、粒状活性炭、オゾン、生物処理など、個別の浄水処理過程のことを指す。なお、単位処理プロセスのうち、粉末活性炭、粒状活性炭、オゾン、生物処理については高度浄水処理プロセスと呼ぶ。
浄水処理フロー	原水から浄水までの単位処理プロセスを組み合わせた一連の浄水処理過程のことを指す。なお、高度浄水処理を含む場合、高度浄水処理フローと呼ぶ。
消毒のみ	濁質の除去を目的とする浄水処理を行わずに、塩素消毒のみを行う浄水処理方式のことを指す。
通常の浄水処理	凝集沈澱+急速ろ過、緩速ろ過、膜ろ過等、濁質の除去を目的とする浄水処理のことを指す。
高度浄水処理	粉末活性炭処理、粒状活性炭処理、オゾン処理、生物処理の一つまたは複数を通常の浄水処理に組み合わせた浄水処理のことを指す。

2) 高度浄水処理方式の分類

本技術資料における浄水処理フローの分類（我が国における導入例）を表-1-1-2に示す。表-1-1-1で定義したとおり、粉末活性炭処理、粒状活性炭処理、オゾン処理、生物処理の一つまたは複数を通常の浄水処理に組み合わせた浄水処理を高度浄水処理と表記しており、浄水処理フローの組合せ数は、粉末活性炭処理が1通り、粒状活性炭処理が2通り、オゾン処理+粒状活性炭処理が5通り、生物処理、生物処理+粒状活性炭処理、生物処理+オゾン処理+粒状活性炭処理が各々1通りとなっている。

表-1-1-2 浄水処理方式の分類（我が国における導入例）

分類	浄水処理方式		浄水処理フロー	
高度浄水処理	粉末活性炭処理方式	<ul style="list-style-type: none"> 濁質の除去を基本とする通常の浄水処理に粉末活性炭処理のみを追加した浄水処理方式であり、他の高度浄水処理プロセスを含まない。 	通常浄水処理の前段で粉末活性炭処理を行う。	原水 → [粉末活性炭] → [凝集沈殿] → (中塩素) → [急速ろ過] → (後塩素) → 浄水
	粒状活性炭処理方式 ※	<ul style="list-style-type: none"> 濁質の除去を基本とする通常の浄水処理に粒状活性炭処理を追加した浄水処理方式である。 	通常浄水処理の後段で粒状活性炭処理（主に活性炭の吸着作用を利用）を行う。	原水 → (前塩素) → [凝集沈殿] → (中塩素) → [急速ろ過] → [粒状活性炭] → (後塩素) → 浄水
			通常浄水処理の間で粒状活性炭処理（活性炭層内の微生物による有機物等の分解作用と活性炭の吸着作用を利用）を行う。	原水 → [凝集沈殿] → [粒状活性炭] → (中塩素) → [急速ろ過] → (後塩素) → 浄水
	オゾン処理 + 粒状活性炭処理方式 ※	<ul style="list-style-type: none"> 濁質の除去を基本とする通常の浄水処理にオゾン処理、粒状活性炭処理、生物処理の一つまたは複数を組み合わせた浄水処理方式である。 	通常浄水処理の後段でオゾン処理と粒状活性炭処理（主に活性炭の吸着作用を利用）を行う。	原水 → [凝集沈殿] → (中塩素) → [急速ろ過] → [オゾン] → [粒状活性炭] → (後塩素) → 浄水
			通常浄水処理の後段でオゾン処理と粒状活性炭処理（活性炭層内の微生物による有機物等の分解作用と活性炭の吸着作用を利用）を行う。	原水 → [凝集沈殿] → [急速ろ過] → [オゾン] → [粒状活性炭] → (後塩素) → 浄水
			通常浄水処理の後段でオゾン処理、粒状活性炭処理（活性炭層内の微生物による有機物等の分解作用と活性炭の吸着作用を利用）、急速ろ過（多層ろ過）を行う。	原水 → [凝集沈殿] → [急速ろ過] → [オゾン] → [粒状活性炭] → (後塩素) → [急速ろ過] → 浄水
			通常浄水処理の間でオゾン処理と粒状活性炭処理（活性炭層内の微生物による有機物等の分解作用と活性炭の吸着作用を利用）を行う。	原水 → [凝集沈殿] → [オゾン] → [粒状活性炭] → (中塩素) → [急速ろ過] → (後塩素) → 浄水

表-1-1-2 浄水処理方式の分類（我が国における導入例）

分類	浄水処理方式		浄水処理フロー	
			通常の浄水処理の間でオゾン処理、後段でオゾン処理と粒状活性炭処理（活性炭層内の微生物による有機物等の分解作用と活性炭の吸着作用を利用）を行う。	原水→〔凝集沈殿〕→〔オゾン〕→〔急速ろ過〕→〔オゾン〕→〔粒状活性炭〕→（後塩素）→浄水
	生物処理方式 ※		通常の浄水処理の前段で生物処理を行う。	原水→〔生物処理〕→〔凝集沈殿〕→（中塩素）→〔急速ろ過〕→（後塩素）→浄水
	生物処理＋粒状活性炭処理方式 ※		通常の浄水処理の前段で生物処理、後段で粒状活性炭処理（主に活性炭の吸着作用を利用）を行う。	原水→〔生物処理〕→（前塩素）→〔凝集沈殿〕→（中塩素）→〔急速ろ過〕→〔粒状活性炭〕→（後塩素）→浄水
	生物処理＋オゾン処理＋粒状活性炭処理方式 ※		通常の浄水処理の前段で生物処理、後段でオゾン処理と粒状活性炭処理（吸着作用または微生物による有機物等の分解作用を利用）を行う。	原水→〔生物処理〕→〔凝集沈殿〕→〔急速ろ過〕→〔オゾン〕→〔粒状活性炭〕→（後塩素）→浄水
通常の浄水処理	通常の浄水処理方式	・凝集沈殿＋急速ろ過、緩速ろ過、膜ろ過等、濁質の除去を目的とする浄水処理であり、かつ、高度浄水処理のいずれも含まない浄水処理方式である。	凝集沈殿＋急速ろ過、緩速ろ過、膜ろ過等、濁質の除去を目的とする浄水処理を行う。	原水→〔凝集沈殿＋急速ろ過・緩速ろ過・膜ろ過〕→（後塩素）→浄水
消毒のみ	消毒方式	・濁質の除去を目的とする浄水処理を行わずに、塩素消毒のみを行う浄水処理方式である。	塩素消毒のみを行う。	原水→（後塩素）→浄水

（注） [] …単位処理プロセス（ここでは粉末活性炭を単位処理プロセスと位置づけている） () …薬品注入

※ 粉末活性炭処理を併用する場合がある。

3) 検討の対象とした浄水処理方式

本技術資料において検討の対象とした浄水処理方式を表-1-1-3に示す。

1-3では、原水水質の水準と我が国で適用されている浄水処理方式の対応関係を明らかにするため、水道統計水質編（平成18年度版）のデータをもとに、「消毒のみ」、「通常の浄水処理」、「高度浄水処理」の3通りについて、主な水質項目の原水水質をヒストグラムによって比較した。また、高度浄水処理の種類による原水水質と浄水水質の水準を把握するため、高度浄水処理を行っている浄水場のうち、粉末活性炭処理方式、粒状活性炭処理方式、オゾン処理+粒状活性炭処理方式の3通りの浄水処理方式について、原水水質と浄水水質をヒストグラムにより比較した。

3-2では、我が国の高度浄水処理における施設諸元の実態を把握するため、表-1-1-2に示した6通りの高度浄水処理方式ごとにアンケート結果を集計・整理した。

3-3では、各々の高度浄水処理方式が目標とする浄水水質を達成することが可能か否かを見きわめるため、高度浄水処理を行っている浄水場のうち、粉末活性炭処理方式、粒状活性炭処理方式、オゾン処理+粒状活性炭処理方式、生物処理方式の4通りの浄水処理方式について、浄水水質の累積頻度分布による分析を行った。

3-4では、原水水質、施設諸元、運転条件の組合せと浄水水質の関連性を定式化することを目指して、高度浄水処理を行っている浄水場のうち、粉末活性炭処理方式、粒状活性炭処理方式、オゾン処理+粒状活性炭処理方式の3通りの浄水処理方式について、重回帰分析を行った。

表-1-1-3 本技術資料において検討の対象とした浄水処理方式

		検討項目	検討の対象とした浄水処理方式
第1章 高度浄水処理に関する基本事項	1-3	水道統計に基づく我が国における高度浄水処理の現状	<ul style="list-style-type: none"> ・消毒のみ ・通常の浄水処理 ・高度浄水処理
			<ul style="list-style-type: none"> ・粉末活性炭処理方式 ・粒状活性炭処理方式 ・オゾン処理+粒状活性炭処理方式
第3章 アンケート調査に基づく我が国の高度浄水処理の現状	3-2	高度浄水処理施設の諸元	<ul style="list-style-type: none"> ・粉末活性炭処理方式 ・粒状活性炭処理方式 ・オゾン処理+粒状活性炭処理方式 ・生物処理方式 ・生物処理+粒状活性炭処理方式 ・生物処理+オゾン処理+粒状活性炭処理方式
			<ul style="list-style-type: none"> ・粉末活性炭処理方式 ・粒状活性炭処理方式 ・オゾン処理+粒状活性炭処理方式 ・生物処理方式
	3-4	重回帰分析を用いた特徴分析	<ul style="list-style-type: none"> ・粉末活性炭処理方式 ・粒状活性炭処理方式 ・オゾン処理+粒状活性炭処理方式

1-2 我が国に導入されている高度浄水処理の特性

表-1-1-2 に示した我が国における代表的な 6 通りの高度浄水処理方式は、各単位処理プロセスの順番に応じて複数の浄水処理フローを有しており、その基本的な考えや留意事項を整理したものが表-1-2-1 である。いずれの浄水処理フローとも、濁質の除去を目的とする「凝集沈澱＋急速ろ過」を基本とし、原水水質の性状に応じて粉末活性炭処理、粒状活性炭処理、オゾン処理、生物処理を組み合わせしており、各々の関連性を図-1-2-1 に示す。

① 粉末活性炭処理方式

凝集沈澱＋急速ろ過の前段で粉末活性炭（powdered activated carbon）を注入する高度浄水処理フローであり、臭気物質やトリハロメタン前駆物質等の除去に有効である。必要に応じて着水井などに注入することが可能であり、粒状活性炭処理と比べて施設面のコストは抑制できるものの、1 回の使用で排泥とともに廃棄されることから、年間の注入日数が長くなるとランニングコストの面で不利となる。また、処理対象物質が一定の濃度を超え、多量の注入を必要とする場合には後段のろ過池から漏洩する可能性があることから、適用可能な原水濃度が限定される。

② 粒状活性炭処理方式

粒状活性炭処理方式は、粒状活性炭に求める機能、浄水処理フロー内での設置位置、前段での塩素の有無によって以下の 2 通りに分類される。

②-1 粒状活性炭処理（GAC：主に活性炭の吸着作用を利用）

凝集沈澱＋急速ろ過の後段に吸着作用を主体とする粒状活性炭処理を単独で配置した高度浄水処理フローである。粒状活性炭処理の前段に中塩素（場合によっては前塩素）を注入することから、異臭味、色度、有機物など、通常の浄水処理では除去しにくい物質を活性炭の吸着能によって除去する。オゾン処理や生物処理を併用するフローと比較して活性炭にかかる負荷が大きくなることや、前段の塩素注入によって生成されるトリハロメタンが粒状活性炭に吸着されることなどから、他の高度浄水処理フローと比較して活性炭の寿命は相対的に短い。こうしたことから、原水水質が比較的良好な浄水場において、粉末活性炭処理に代わる浄水処理方式として導入されることが多い。従来の浄水処理フローの後段に活性炭接触池を設ければ済むことから、建設コストは比較的安価である。

なお、本技術資料では、吸着作用を主体とする粒状活性炭処理を GAC（Granular Activated Carbon）と表記することがある。

②-2 粒状活性炭処理（BAC：微生物による有機物等の分解作用＋活性炭の吸着作用を利用）

凝集沈澱＋急速ろ過の間に粒状活性炭を単独で配置した高度浄水処理フローである。粒状活性炭処理の前段に塩素を注入しない（または前弱塩素を注入する）ことから、層内に繁殖

する微生物による有機物等の分解作用やアンモニアの硝化作用に加えて活性炭の吸着作用による効果も見込めるほか、活性炭の吸着機能をより長く持続させる効果も期待できる。オゾン処理や生物処理を併用するフローと比較して活性炭にかかる負荷が相対的に大きくなることや、オゾン処理による有機物の低分子化という粒状活性炭（BAC）にとって有利な条件が得られないことなどから、活性炭の寿命は相対的に短くなる。活性炭層内には微生物が多く繁殖しており、処理水中への漏出に留意する必要があるが、最後段に急速ろ過処理が配置されているため、こうした微生物に対するリスクは比較的小さい。主な追加施設は活性炭接触池のみで済むため比較的安価であるが、既存の凝集沈澱と急速ろ過の間に配置させることから、連絡管や中間ポンプの設置、既存施設の改造など、②-1 と比べて施設配置上の検討を伴う場合がある。

なお、本技術資料では、微生物による有機物等の分解作用に加えて活性炭の吸着作用による効果を利用する粒状活性炭処理をBAC（Biological Activated Carbon）と表記することがある。

③ オゾン処理＋粒状活性炭処理方式

オゾン処理＋粒状活性炭処理方式は、オゾン処理と粒状活性炭処理の浄水処理フロー内での設置位置や粒状活性炭に求める機能等により、以下の5通りに分類される。

③-1 後オゾン処理＋粒状活性炭（GAC）処理-----【②-1→③-1】

②-1の前段にオゾン処理を配置した高度浄水処理フローである。オゾンは急速ろ過の後段に配置され、後オゾン方式と呼ぶことがある。オゾン処理は強力な酸化力によって水道原水中に含まれる有機物を低分子化し、生物分解性を向上させるなど、後段の活性炭にかかる負荷を低減させる効果を有することから、粒状活性炭処理の②-1に比べると粒状活性炭の寿命を長く確保することが出来る。一方、オゾン処理に関しては副生成物（特に臭素酸）に留意する必要がある。原水の臭化物イオン濃度が高い状況のもとでオゾン注入率を高くすると臭素酸濃度は上昇することから、必要最小限のオゾン注入とするため、近年では注入率一定制御よりも残留オゾン一定制御を採用する浄水場が多い。なお、臭素酸の生成経路は複雑であり、他の被酸化物質やアンモニア等の存在が関与することが知られている。

③-2 後オゾン処理＋粒状活性炭（BAC）処理-----【③-1→③-2】

③-1の中塩素を注入しない高度浄水処理フローであり、活性炭層内の微生物による有機物等の分解作用等に加えて活性炭の吸着効果を利用する。活性炭の前段でトリハロメタンが生成されないことや、活性炭層内の微生物による有機物等の分解作用などにより、③-1と比較すると粒状活性炭の寿命を長く確保することが可能である。一方、急速ろ過の前段で塩素を注入しないことから、ろ過砂がマンガン砂になりやすく、オゾンで酸化されたマンガンは後段の粒状活性炭で除去することとなる。このため、急激な原水水質悪化時などにおけるマン