

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

3-1 概要

我が国の高度浄水処理における施設諸元、運転条件、水質（原水・処理工程・浄水水質）に関する情報を収集し、その実態を把握することを目的として、高度浄水処理を導入している我が国の全ての浄水場を対象にアンケートを実施した。なお、ここで得られた知見は高度浄水処理の導入に際して、浄水処理フローや施設諸元の候補を選定する際に参考となりうるものであり、その活用方法等については1-5で述べている。

1) 調査対象

水道統計水質編（平成18年度版）をもとに、浄水処理方法の欄に「粉末活性炭」、「粒状活性炭」、「オゾン処理」、「生物処理」のいずれかを含むものを抽出した結果、表-1-3-1～表-1-3-2に示すとおり浄水処理方式別・水源種類別の組合せ件数は355であった。この中から以下の方法によって追加・削除を行い、313箇所の浄水場を対象にアンケート調査を実施した。その一覧を資料-2-1に示す。

- ・水道統計水質編では、1箇所の浄水場で複数の水源を有する場合や、水道用水供給事業の供給先が供給元の浄水場を記載している場合があるなど、1箇所の浄水場が複数掲載されていることがあるため、こうした重複を除いた。
- ・水道統計水質編（平成18年度版）の調査以降に新設された浄水場についてもアンケート調査の対象とした。
- ・1箇所の浄水場において系列ごとに複数の浄水処理方式を有する場合は、複数の浄水場として取り扱った。
- ・アンケート調査の結果、浄水処理方式が水道統計と異なることが明らかとなった場合には、情報を適宜更新した。

2) アンケート回収結果

アンケートの回収状況は表-3-1-1に示すように、313箇所のうち245箇所から有効回答を得た（回収率は78.3%）。

表-3-1-1 アンケートの回収結果（浄水場数）

浄水処理方式	対象数	有効回答数	回収率
粉末活性炭	168	136	81.0%
粒状活性炭	75	54	72.0%
オゾン+粒状活性炭	36	29	80.6%
生物処理	19	14	73.7%
生物処理+粒状活性炭	10	8	80.0%
生物処理+オゾン+粒状活性炭	4	3	75.0%
その他	1	1	100.0%
合計	313	245	78.3%

3) アンケート項目

アンケート項目は表-3-1-2 に示すとおりであり、施設諸元、運転条件、水質に関する各種の情報を収集した。アンケート調査票を資料-2-2 に示す。

表-3-1-2 アンケート項目

分類1	分類2	No.	項目
施設諸元	浄水場全体	1-1	5桁の台帳番号
		1-2	都道府県名
		1-3	水道事業体名
		1-4	浄水場名
		1-5	浄水場番号
		1-6	水源名
		1-7	水源番号
		1-8	水源種類
		1-9	施設能力
		1-10	浄水処理フロー
		1-11	稼働開始年月（浄水場）
		1-12	稼働開始年月（高度浄水処理）
		1-13	浄水水質の管理目標（水質項目、濃度）
		1-14	運転管理人数（平日昼間、平日夜間、休日昼間、休日夜間）
		1-15	高度浄水処理の建設費（土木、機械、電気、建築、その他）
		1-16	高度浄水処理の運転・維持管理費（薬品費、電力費、粉末活性炭費その他）
		1-17	中間ポンプの有無
		1-18	塩素接触池の有無（前塩素、中塩素、後塩素）
		1-19	特記事項
粉末活性炭処理	粉末活性炭処理	2-1	粉末活性炭の諸元（活性炭の種類、平均孔径）
		2-2	粉末活性炭注入設備等の施設諸元（粉末活性炭の注入方式、粉末活性炭の注入点、粉末活性炭接触池の有無、接触時間（設計値））
		2-3	粉末活性炭処理施設の維持管理（対象とする水質項目、管理目標点、管理目標値、維持管理上の留意事項）
粒状活性炭処理	粒状活性炭処理	3-1	粒状活性炭の諸元（活性炭の種類、平均粒径、有効径、均等係数、活性炭の機能）
		3-2	活性炭接触池の諸元（通水・炭層方式、下部集水装置、1池当たりの池面積、池数、総ろ過面積、活性炭層厚、空間速度（SV）（設計値）、線速度（LV）（設計値）、線速度（LV）（設計値）、接触時間（設計値）、接触時間（設計値））

表-3-1-2 アンケート項目

分類 1	分類 2	No.	項目
		3-3	活性炭接触池の維持管理（ろ過継続時間、洗浄強度（表面洗浄）、洗浄強度（逆流洗浄）、洗浄強度（空気洗浄）、洗浄時間（表面洗浄）、洗浄時間（逆流洗浄）、洗浄時間（空気洗浄）、粒状活性炭交換の有無、粒状活性炭交換（再生）頻度、交換（再生）する粒状活性炭の種類、再生の場合の新炭補充量、活性炭再生の有無、交換（再生）の判断基準、維持管理上の留意事項）
	オゾン処理	4-1	オゾン発生装置の諸元（オゾン発生方式、オゾン発生容量、発生オゾン濃度、オゾン原料、オゾン発生器台数）
		4-2	施設諸元（オゾン接触方式、池数（オゾン接触池）、池数（オゾン反応・滞留池）、接触段数（散気管方式の場合）、接触時間（設計値）、反応（滞留）時間（設計値）、排オゾン処理方式）
		4-3	オゾン施設の維持管理（通常のオゾン制御方式、維持管理上の留意事項）
	生物処理	5-1	①浸漬ろ床・回転円板方式 生物処理の方式、接触時間、所要面積、処理水槽深さ、曝気設備の有無、洗浄設備の有無、排泥設備の有無 ②生物接触ろ過方式 生物処理の方式、担体の種類、平均粒径、通水方式、1池当たりの池面積、池数、総ろ過面積、層厚、空間速度（SV）（設計値）、線速度（LV）（設計値）、線速度（LV）（設計値）、接触時間（設計値）、接触時間（設計値）、曝気設備の有無、洗浄設備の有無
		5-2	生物処理施設の維持管理（維持管理上の留意事項）
運転条件	浄水場全体		処理水量
	粉末活性炭処理		実接触時間
	オゾン処理		オゾン注入率、実接触時間、実滞留時間、溶存オゾン濃度、吸収効率
	粒状活性炭処理		通水日数、実SV、実LV、実接触時間
	生物処理		実接触時間、実SV、実LV
	薬品注入率		硫酸、炭酸ガス、粉末活性炭、前塩素、中間塩素、後塩素、前凝集剤、後凝集剤、消石灰、苛性ソーダ、その他
水質	処理工程別水質		水温、濁度、pH 値、色度、TOC、2-MIB、ジエオキシ、陰イオン界面活性剤、非イオン界面活性剤、THM 生成能、総 THM、臭化物イオン、臭素酸、紫外線吸光度、アンモニア態窒素

4) アンケート結果の集計・分析方法

収集したアンケート結果は、以下の方法により活用した。なお、集計に際しては基本的に回答結果をそのまま用いたが、明らかに単位の誤りと判断されるデータについては、適宜修正した上で集計を行った。

(1) 高度浄水処理施設の諸元 [3-2 参照]

浄水場全体、粉末活性炭処理、粒状活性炭処理、オゾン処理、生物処理の各々について、浄水処理フロー毎に施設諸元を集計した。

(2) 累積頻度分布を用いた特徴分析 [3-3 参照]

各々の高度浄水処理フロー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、浄水水質のデータをもとに累積頻度分布を作成した。

(3) 重回帰分析を用いた特徴分析 [3-4 参照]

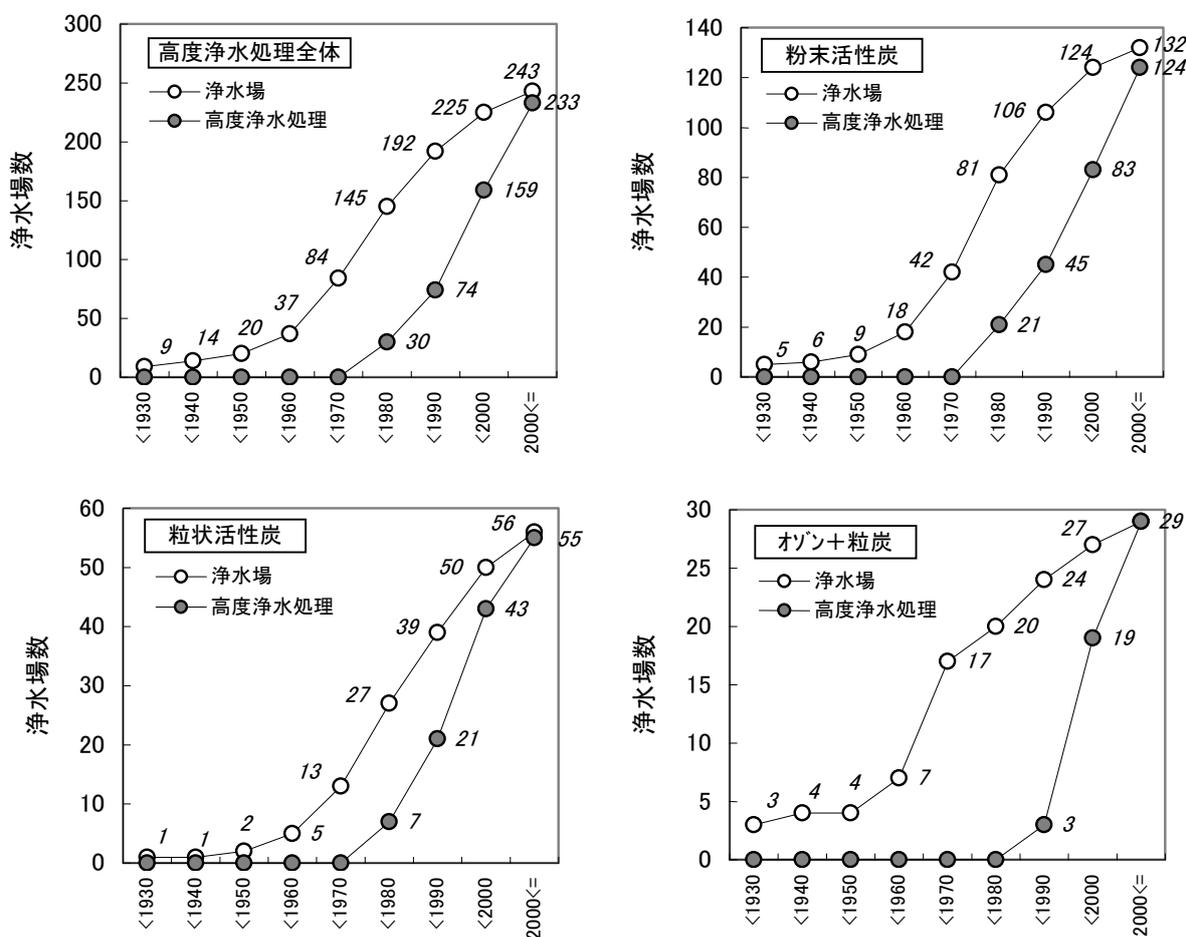
原水水質、施設諸元、運転条件の組合せと浄水水質の関連性を定式化することを目指して、これらのデータをもとに重回帰分析を行った。

3-2 高度浄水処理施設の諸元

1) 浄水場全体に関する事項

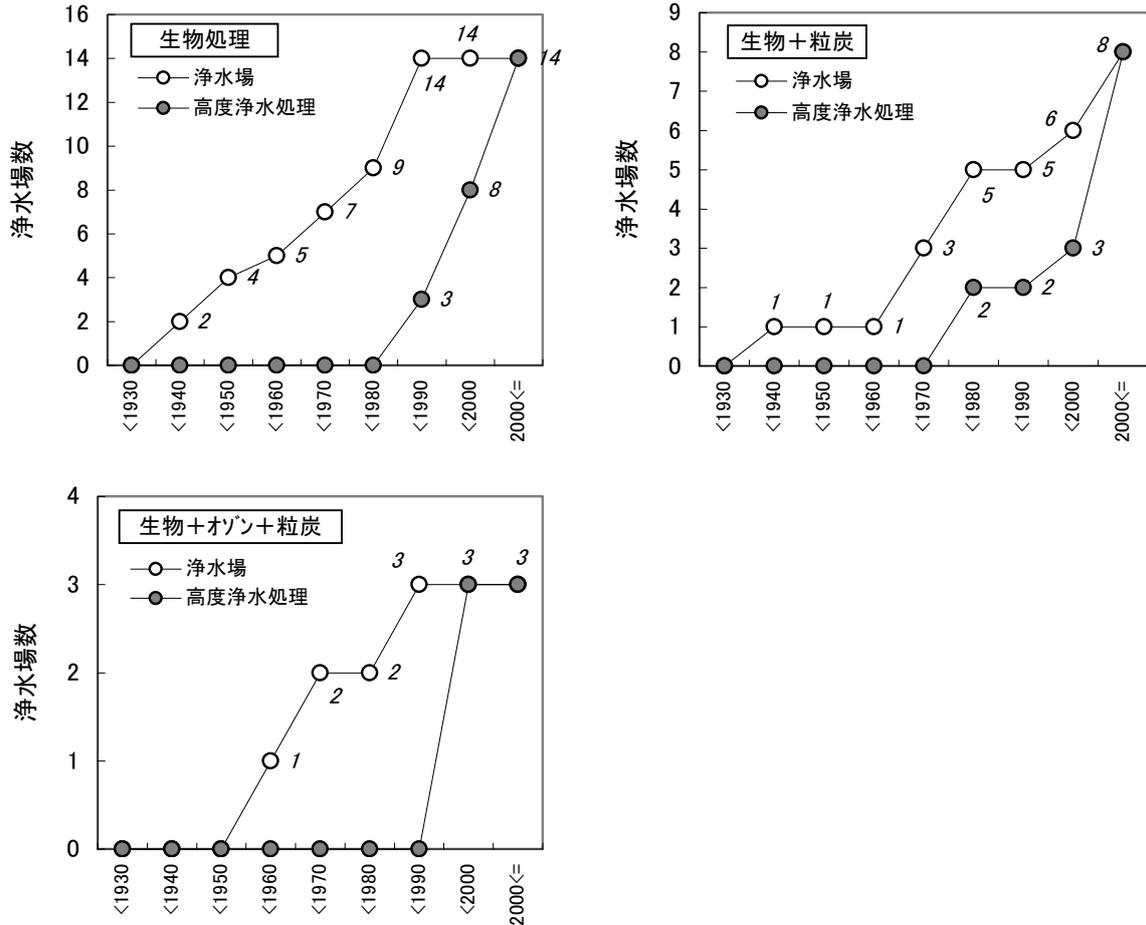
(1) 高度浄水処理を導入している浄水場における高度浄水処理施設の導入件数の経年変化

図-3-2-1～図-3-2-2は、高度浄水処理を導入している浄水場における高度浄水処理施設の導入件数の経年変化を浄水処理方式別に示したものである。高度浄水処理は1970年に初めて稼働して以来、着実に導入が進み、特に1990年以降は導入数が増加している。粉末活性炭と粒状活性炭は1970年以降、オゾンと生物処理は1980年以降から導入されている。なお、稼働開始年が不明（未記入）の浄水場があるため最終年度で浄水場数が高度浄水処理数に一致しない場合がある。



稼働開始年が不明（未記入）の浄水場があるため最終年度で浄水場数が高度浄水処理数に一致しない場合がある。

図-3-2-1 高度浄水処理を導入している浄水場における高度浄水処理施設の導入件数の経年変化 (1)



稼働開始年が不明（未記入）の浄水場があるため最終年度で浄水場数が高度浄水処理数に一致しない場合がある。

図-3-2-2 高度浄水処理を導入している浄水場における高度浄水処理施設の導入件数の経年変化 (2)

(2) 浄水水質の管理目標

① 水質項目

図-3-2-3～図-3-2-5 は、浄水処理を行う上で、水道水質基準値とは別に独自の管理目標値を定めている項目について示したものである。総トリハロメタン等の消毒副生成物、2-MIB やジェオスミン等のかび臭物質、有機物、水の基礎的性状である濁度や色度等を挙げる水道事業者が多く見られる。

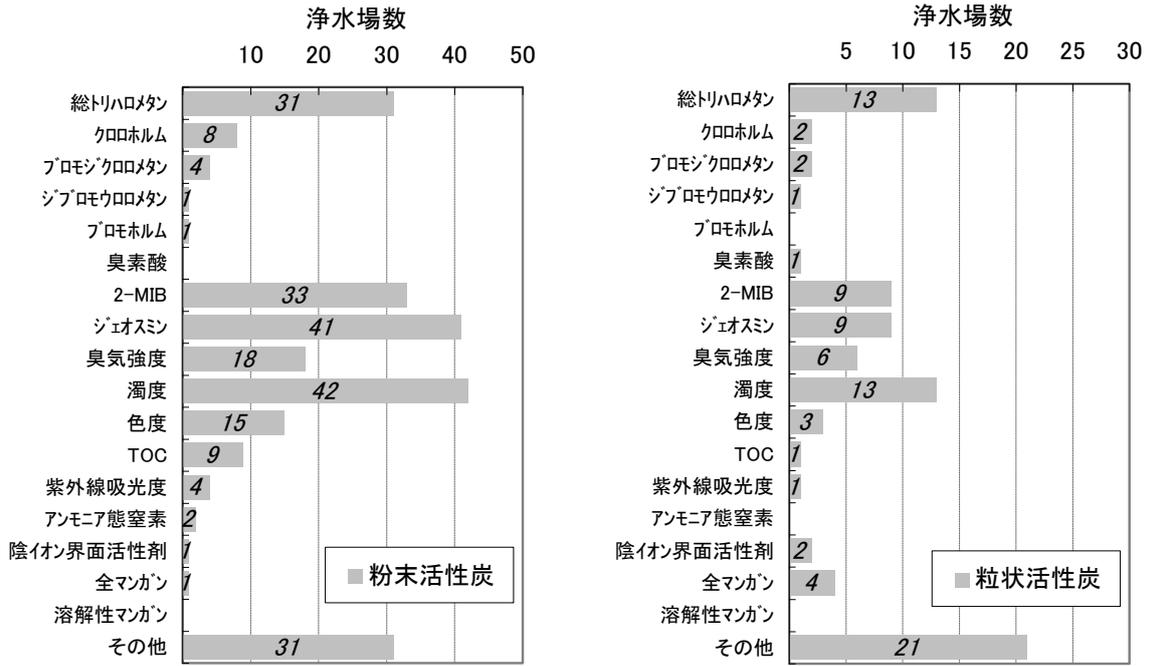


図-3-2-3 浄水水質の管理目標（水質項目（1））

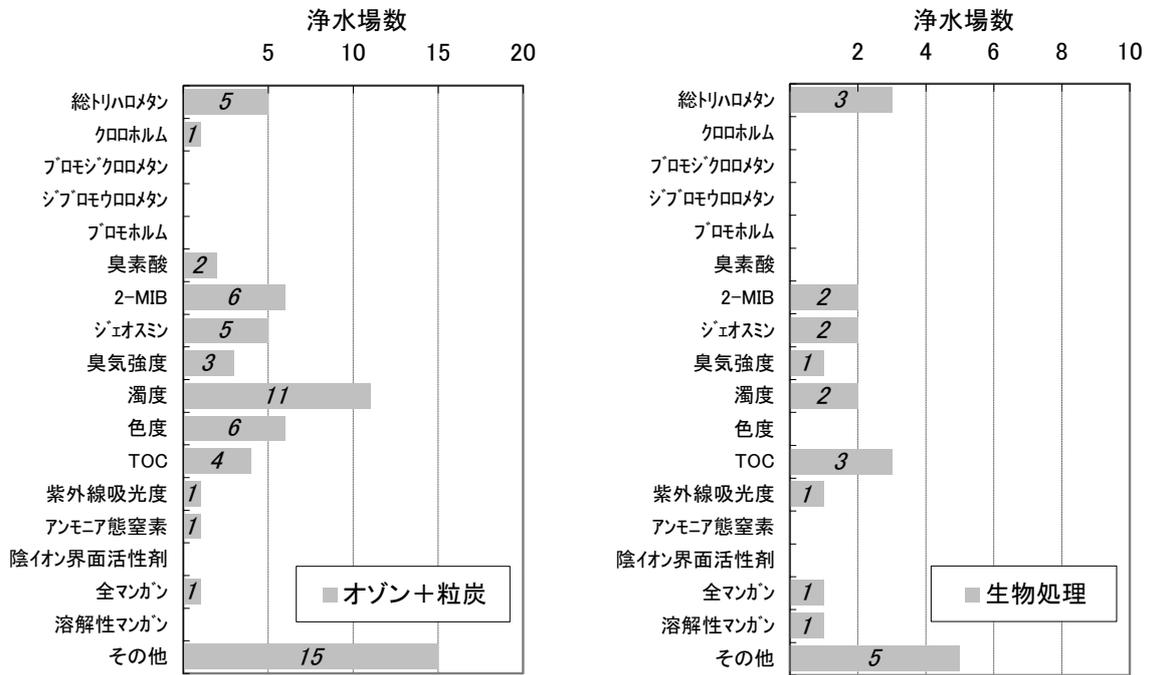


図-3-2-4 浄水水質の管理目標（水質項目（2））

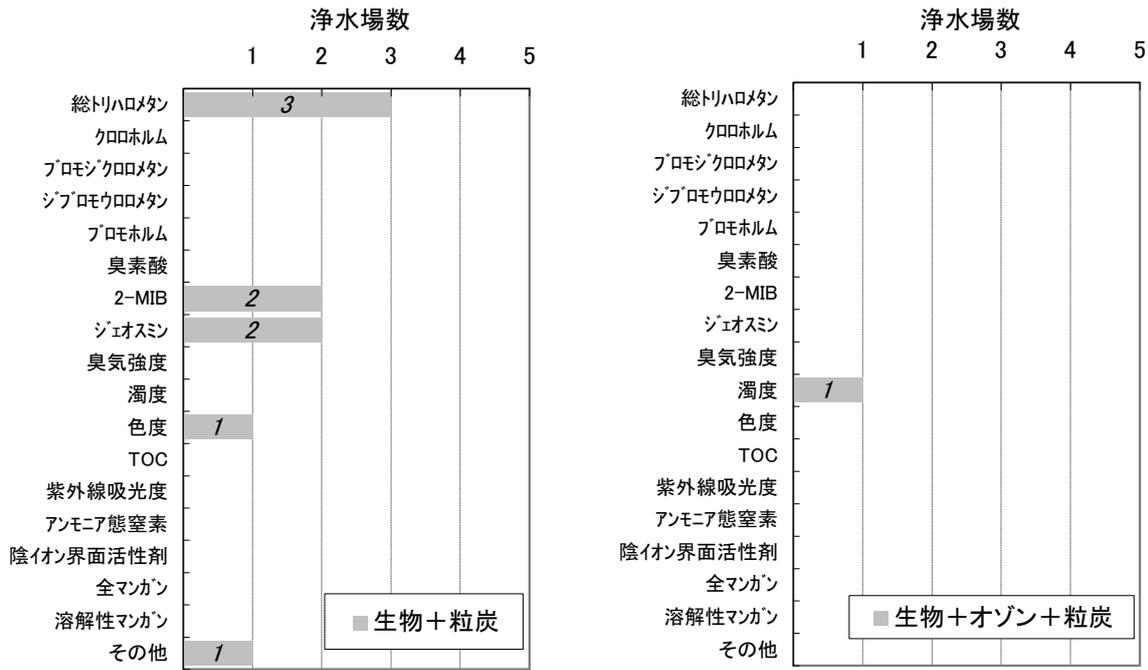


図-3-2-5 浄水水質の管理目標 (水質項目 (3))

② 管理目標濃度

図-3-2-6～図-3-2-9 は、①で挙げられた「その他」以外の 17 水質項目について、水道水質基準値よりも厳しい濃度で設定された管理目標濃度の幅を示したものである。全体的にばらつきは認められるが、設定数の多い総トリハロメタンやかび臭 (2-MIB、ジェオスミン) の平均値に着目すると、基準値の半分以下の濃度を設定する浄水場が多い。特にトリハロメタン等の消毒副生成物については、送配水系統において生成が進行する可能性があるため、浄水場出口の濃度を低く抑える傾向が見られる。また濁度については、クリプトスポリジウム対策の観点から多くの浄水場において徹底した濁度管理 (0.1 度以下) が講じられている。

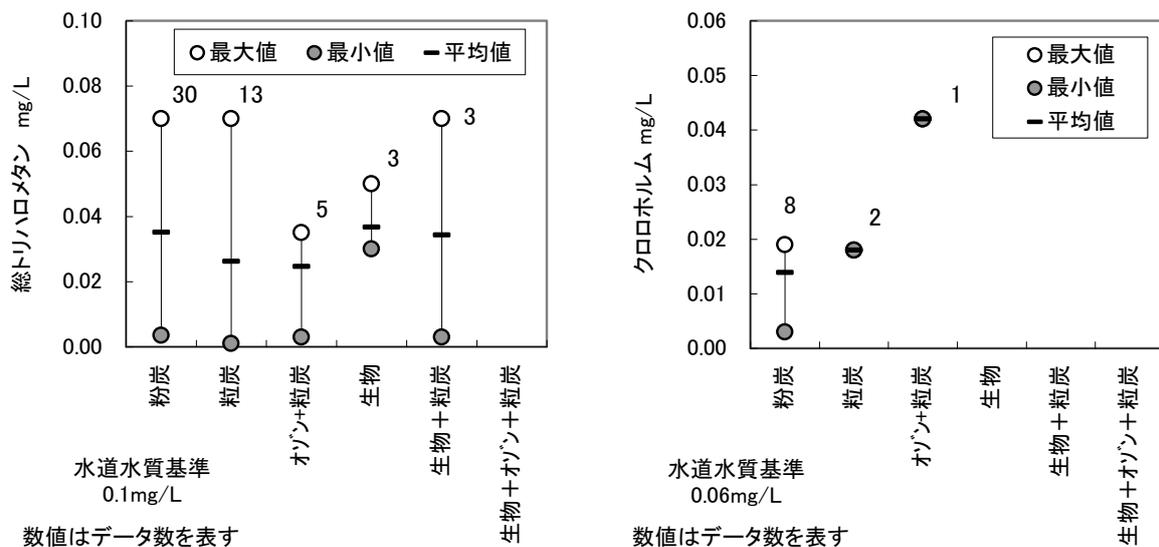


図-3-2-6 浄水水質の管理目標濃度 (1)

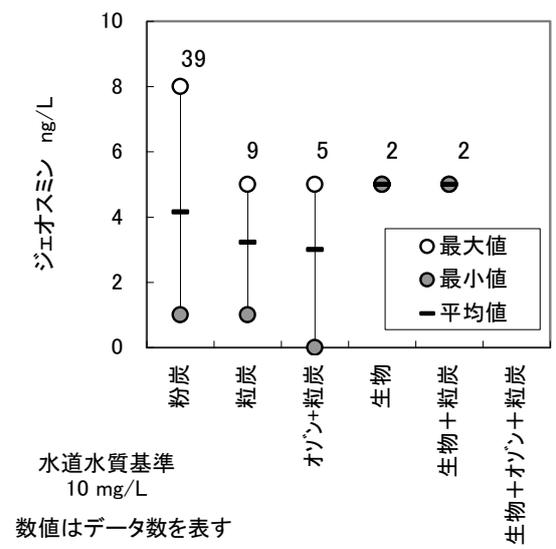
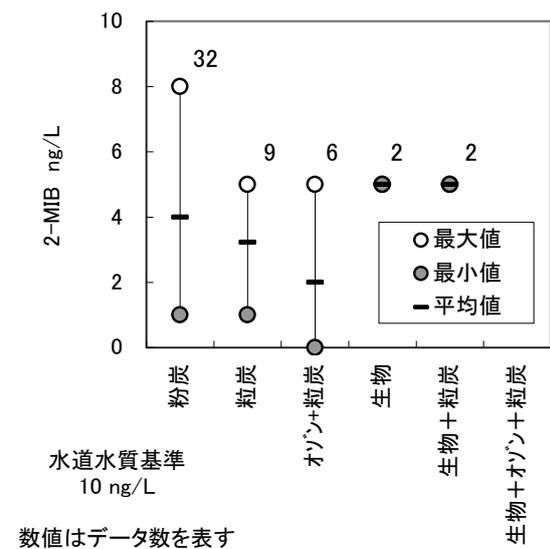
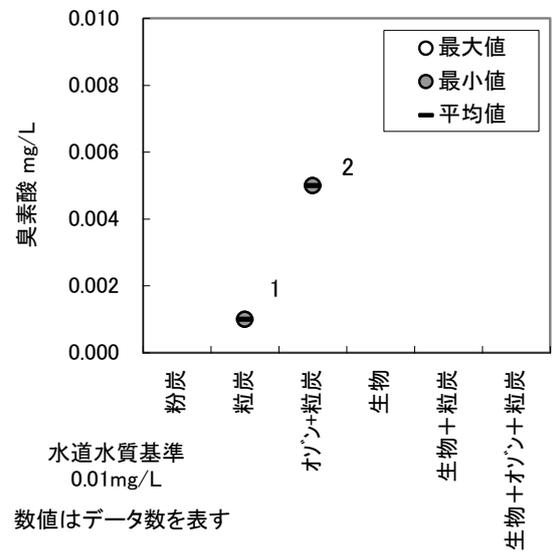
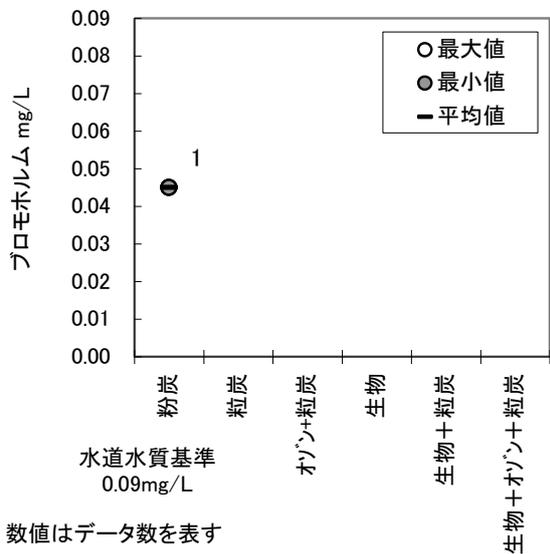
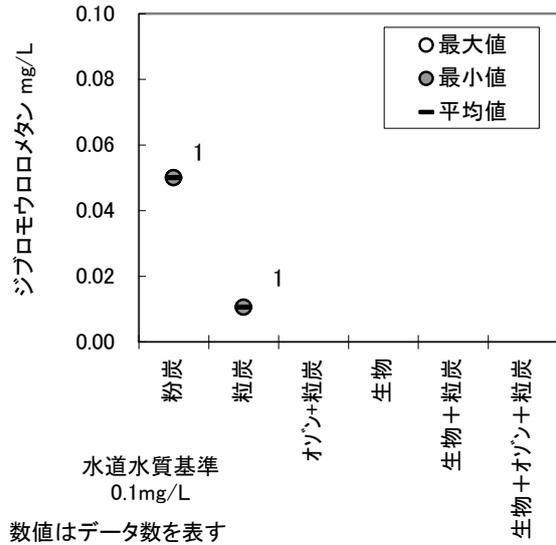
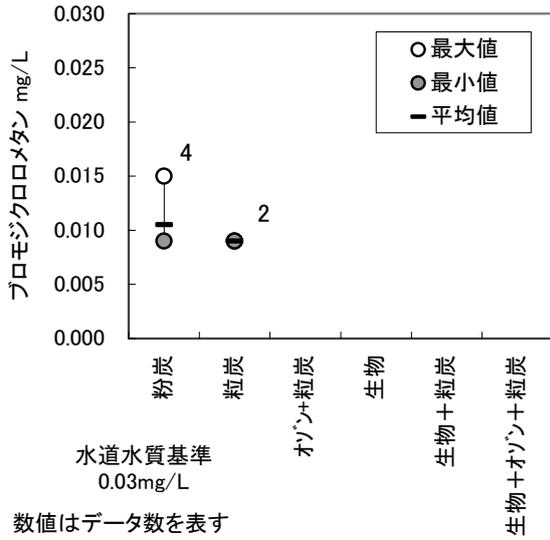


図-3-2-7 浄水水質の管理目標濃度 (2)

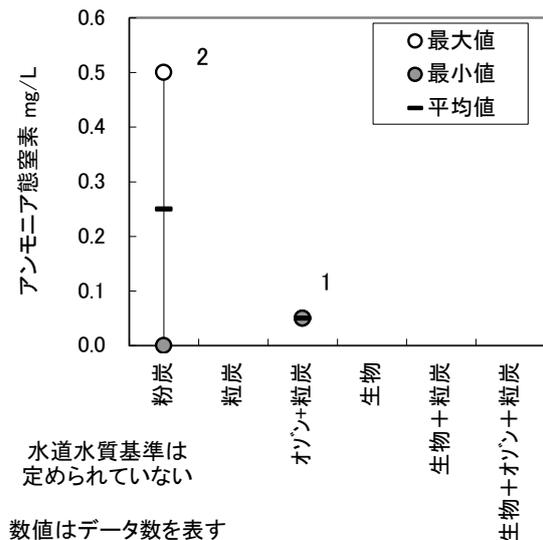
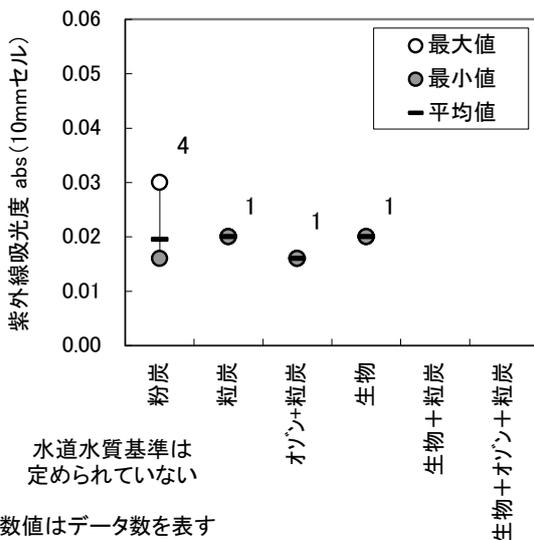
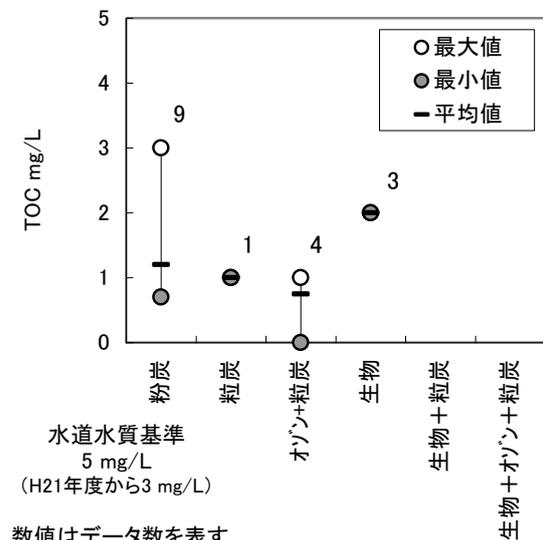
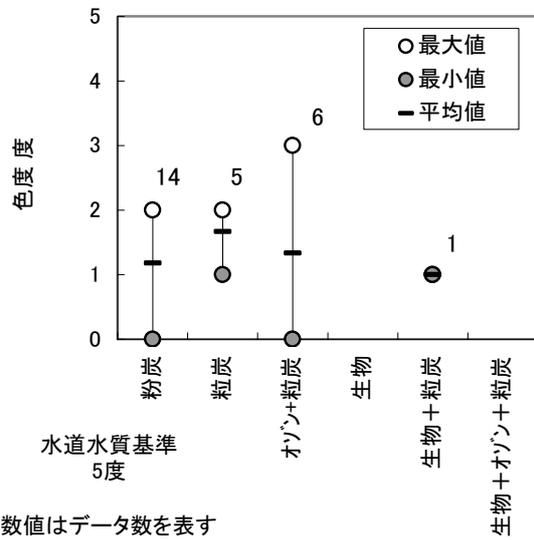
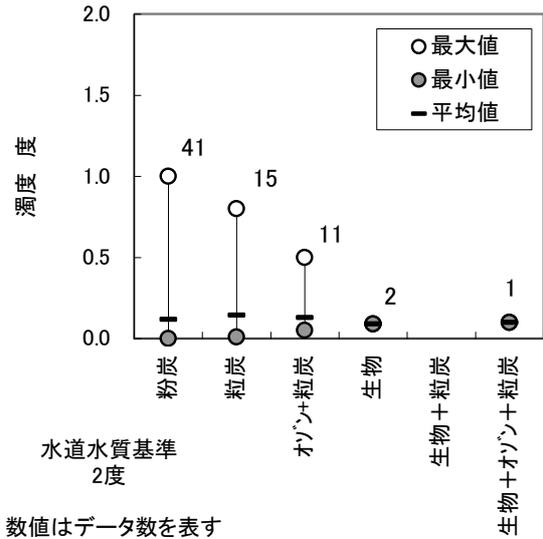
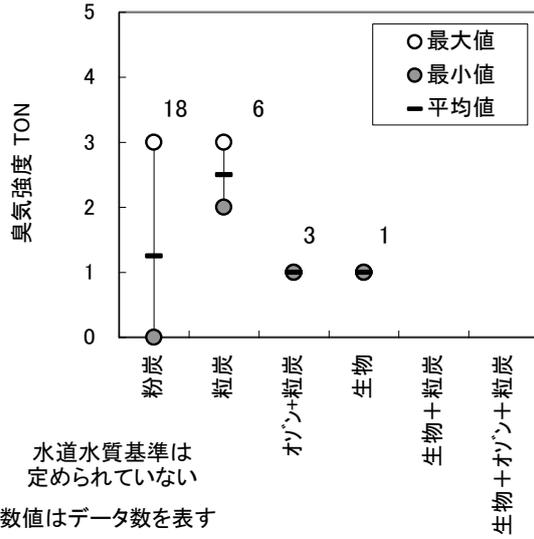


図-3-2-8 浄水水質の管理目標濃度 (3)

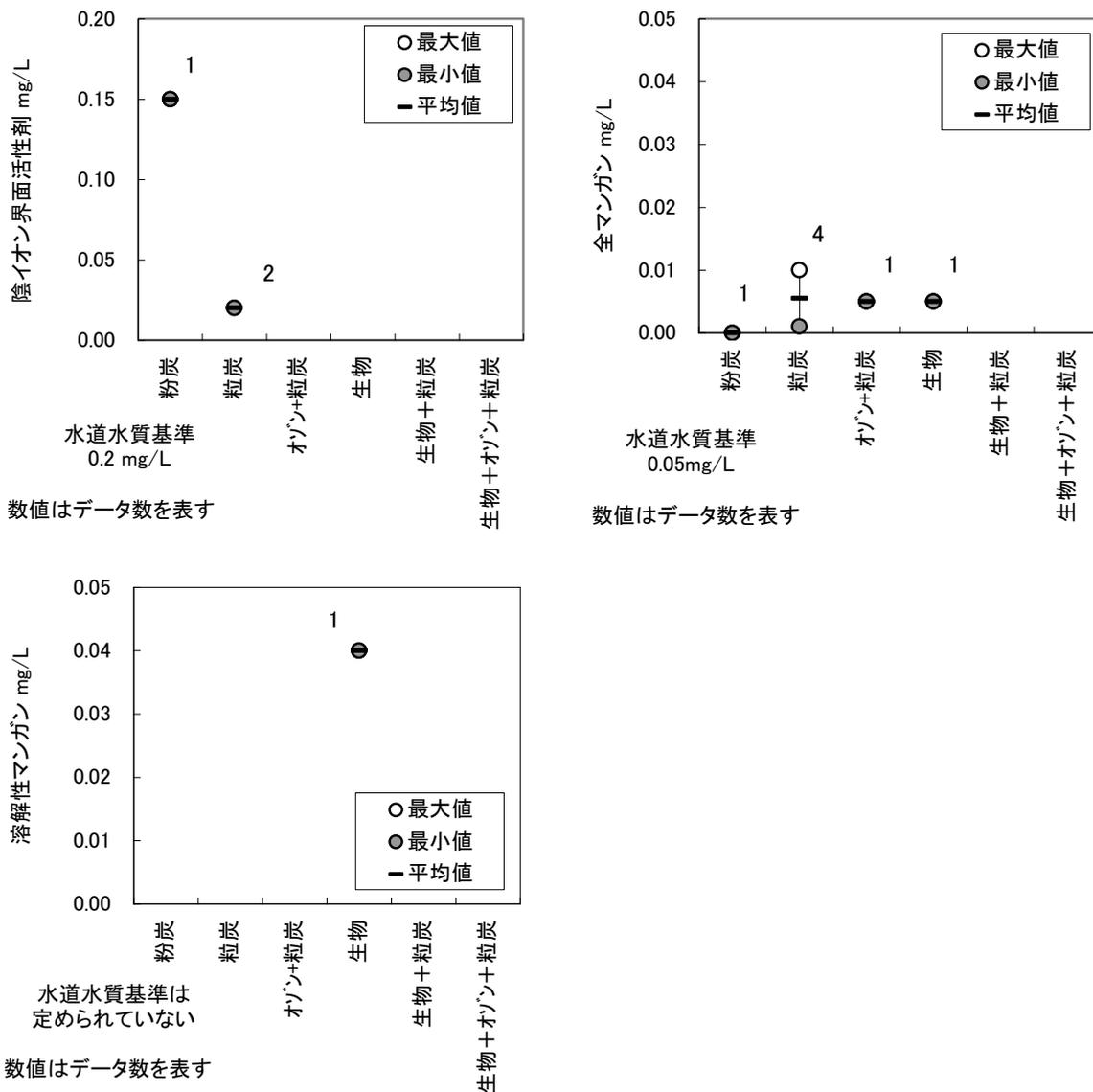


図-3-2-9 浄水水質の管理目標濃度 (4)

(3) 運転管理人数

図-3-2-10～図-3-2-29 は、浄水場の運転管理人数を時間帯別（平日昼間、平日夜間、休日昼間、休日夜間）に示したものである。同一の規模と同一の時間帯で浄水処理方式別に比較すると、粉末活性炭や粒状活性炭と比べてオゾン処理を導入している浄水場では運転管理人数が多くなる傾向が見られる。なお、このデータは委託管理を含むものと含まないものが混在している可能性がある点に注意する必要がある。

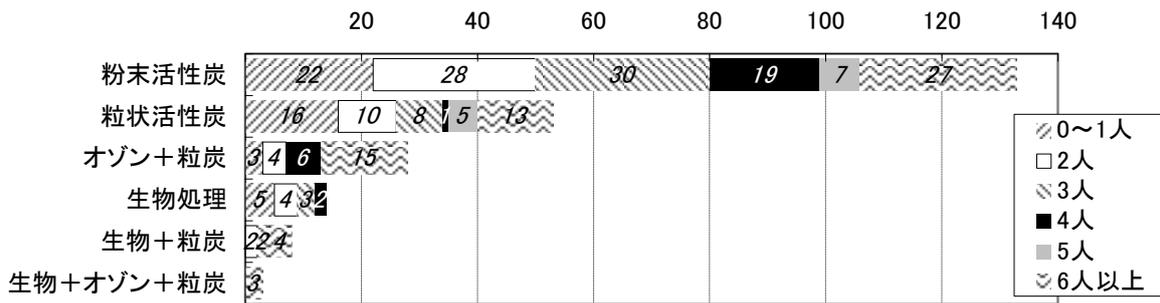


図-3-2-10 運転管理人数（平日昼間・全体）

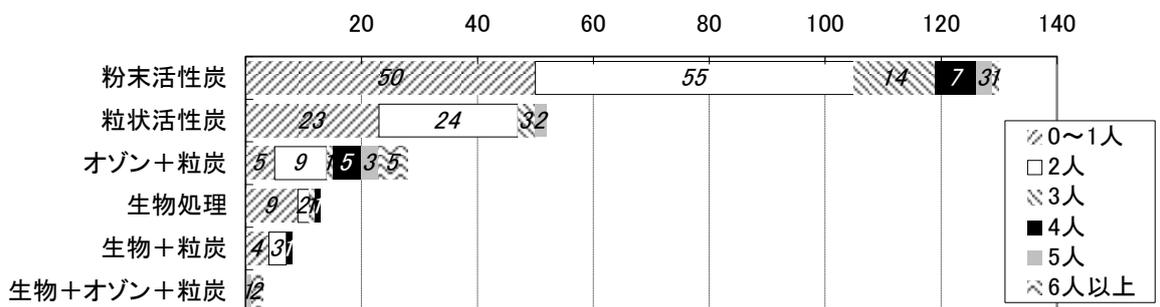


図-3-2-11 運転管理人数（平日夜間・全体）

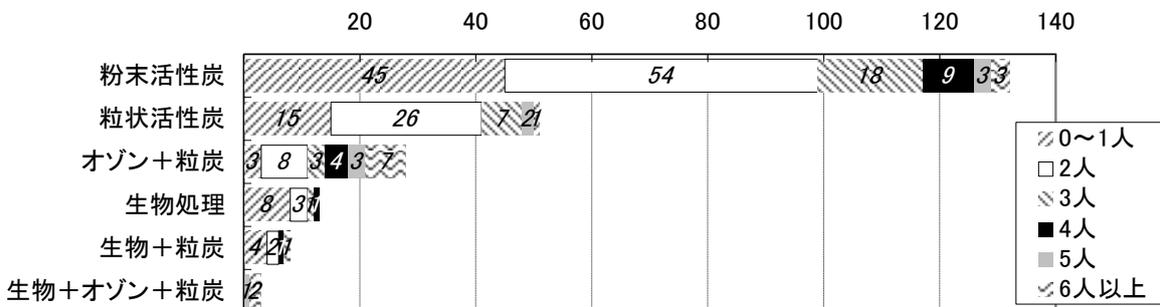


図-3-2-12 運転管理人数（休日昼間・全体）

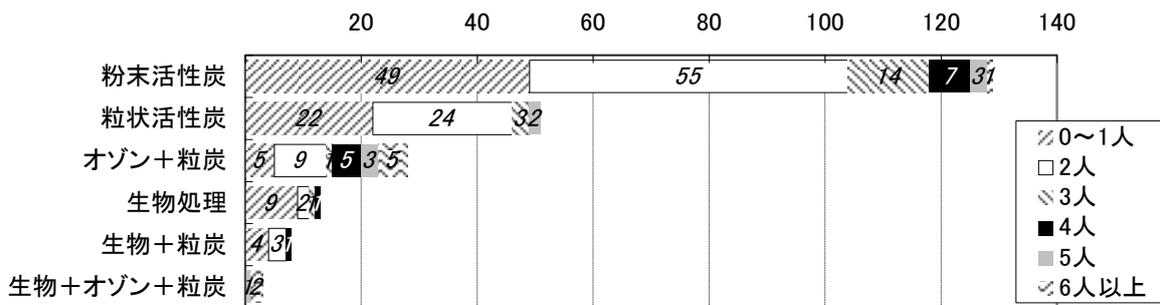


図-3-2-13 運転管理人数（休日夜間・全体）

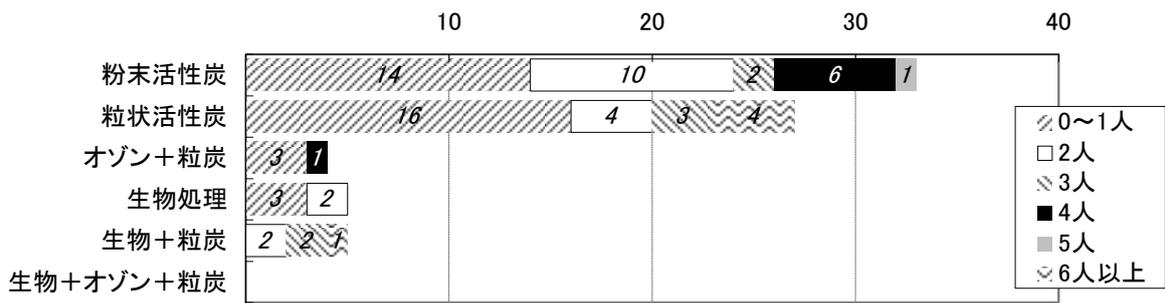


図-3-2-14 運転管理人数（平日昼間・施設能力 10,000 m³/日未満）

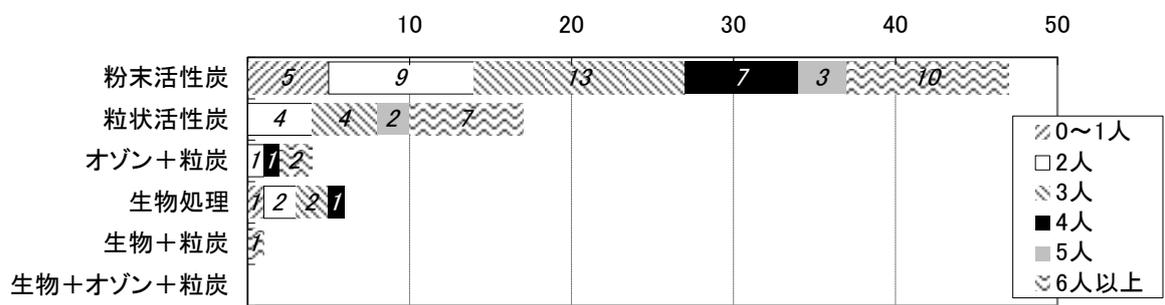


図-3-2-15 運転管理人数（平日昼間・施設能力 10,000~50,000 m³/日）

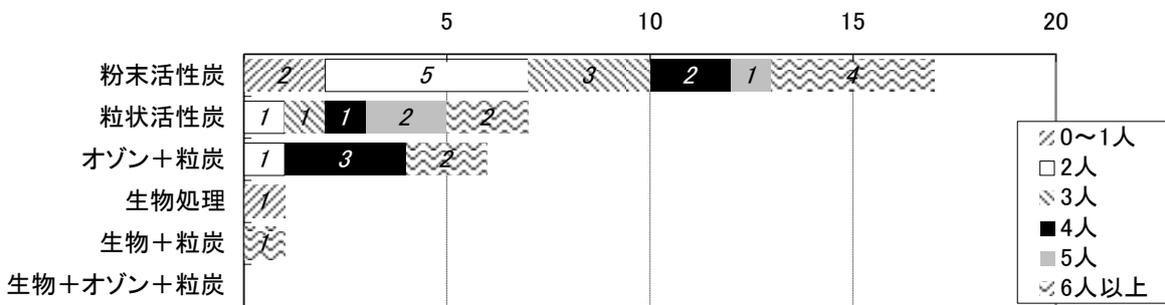


図-3-2-16 運転管理人数（平日昼間・施設能力 50,000~100,000 m³/日）

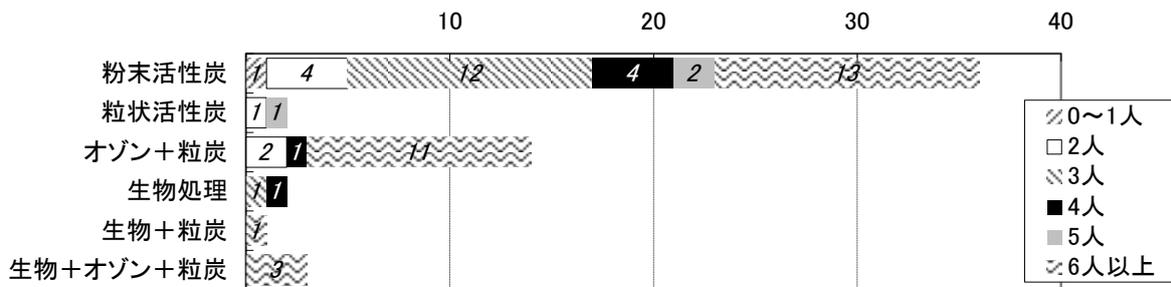


図-3-2-17 運転管理人数（平日昼間・施設能力 100,000 m³/日以上）

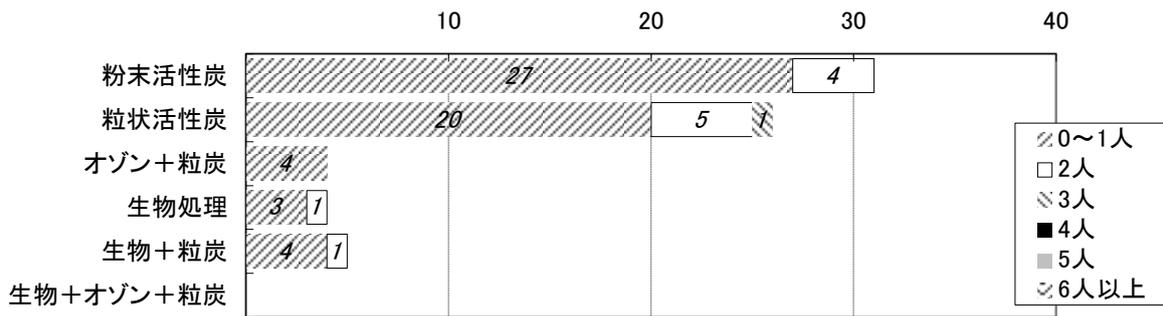


図-3-2-18 運転管理人数（平日夜間・施設能力 10,000 m³/日未満）

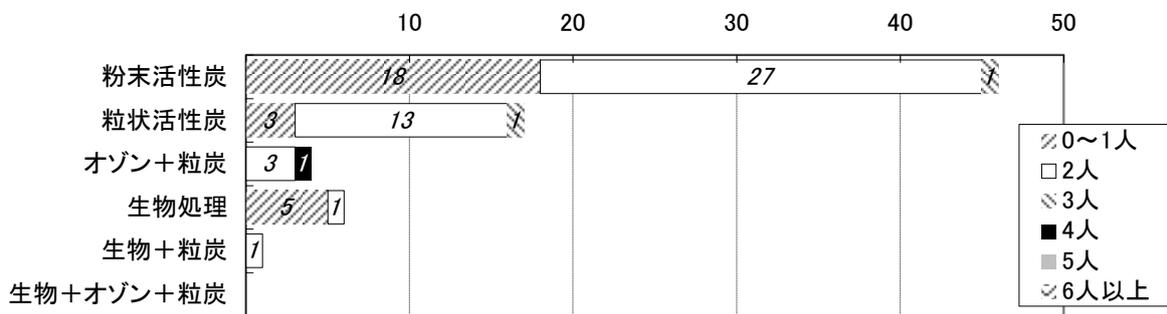


図-3-2-19 運転管理人数（平日夜間・施設能力 10,000~50,000 m³/日）

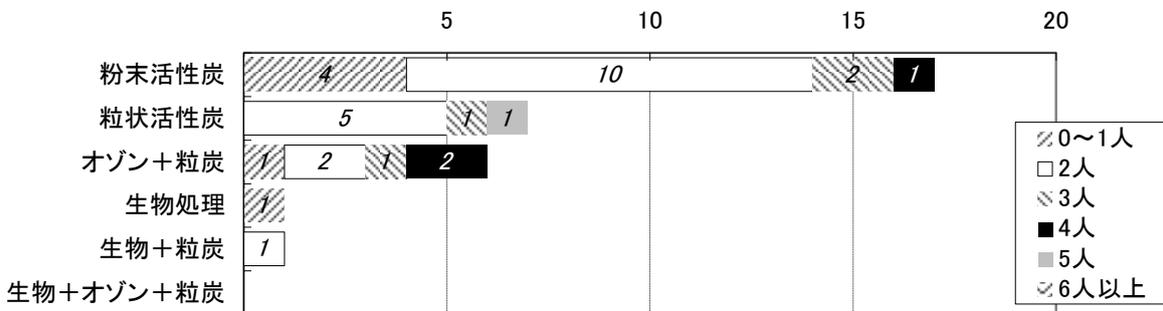


図-3-2-20 運転管理人数（平日夜間・施設能力 50,000~100,000 m³/日）

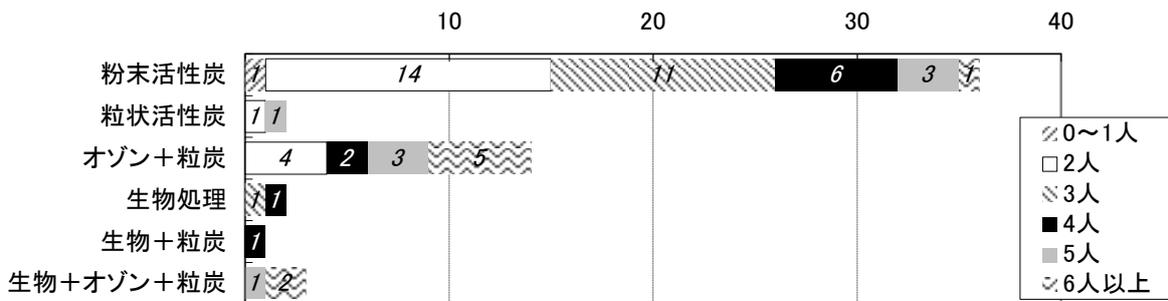


図-3-2-21 運転管理人数（平日夜間・施設能力 100,000 m³/日以上）

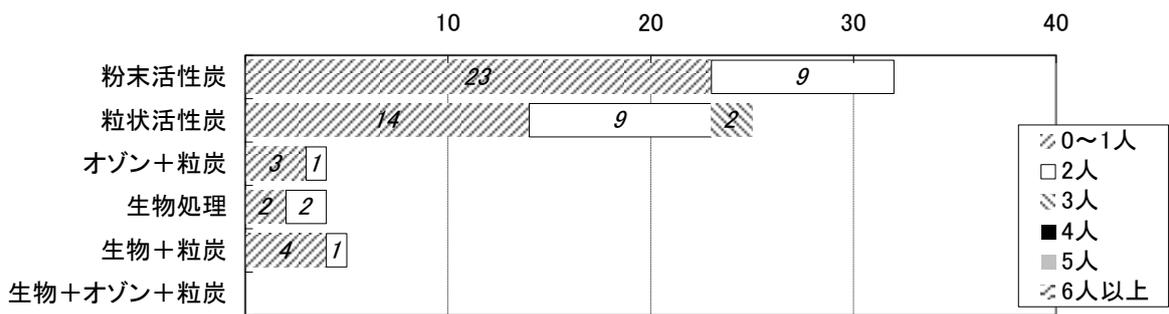


図-3-2-22 運転管理人数（休日昼間・施設能力 10,000 m³/日未満）

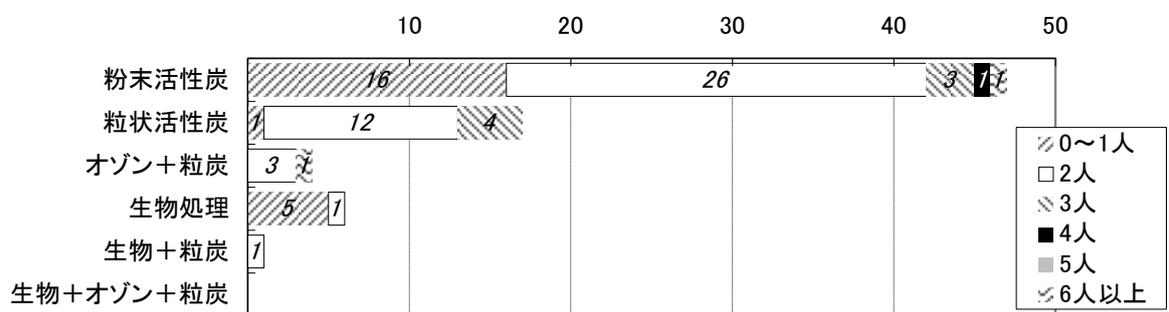


図-3-2-23 運転管理人数（休日昼間・施設能力 10,000~50,000 m³/日）

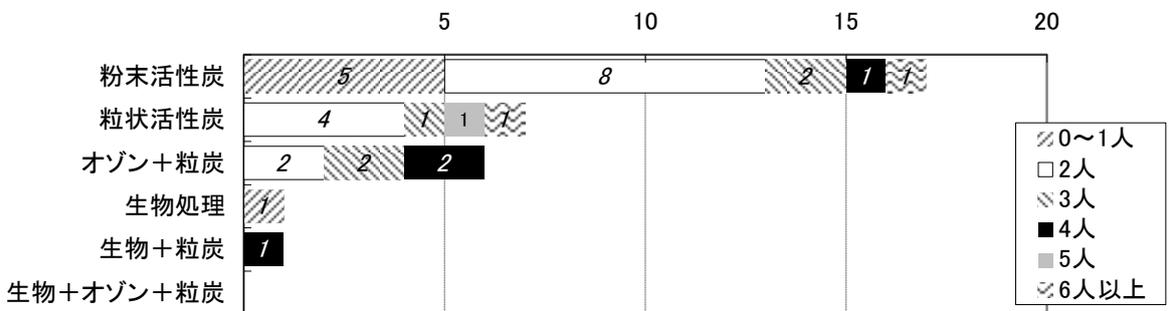


図-3-2-24 運転管理人数（休日昼間・施設能力 50,000~100,000 m³/日）

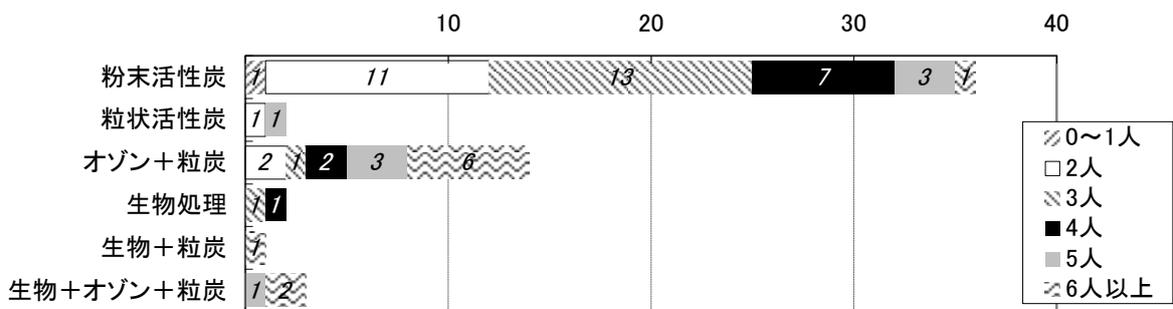


図-3-2-25 運転管理人数（休日昼間・施設能力 100,000 m³/日以上）

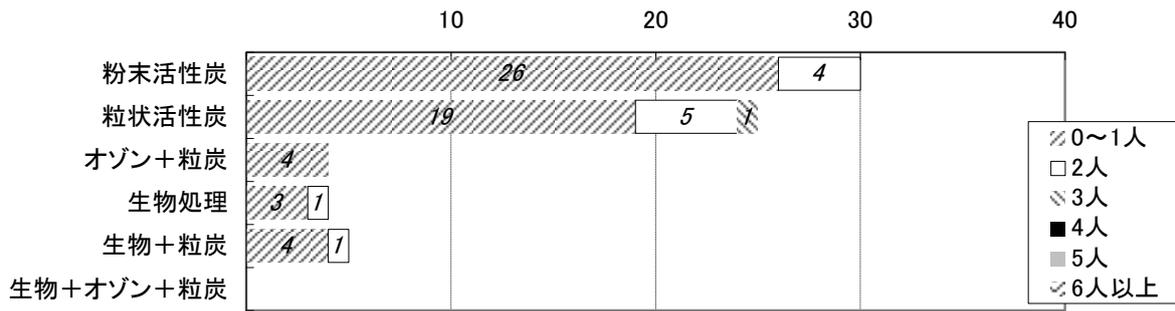


図-3-2-26 運転管理人数（休日夜間・施設能力 10,000 m³/日未満）

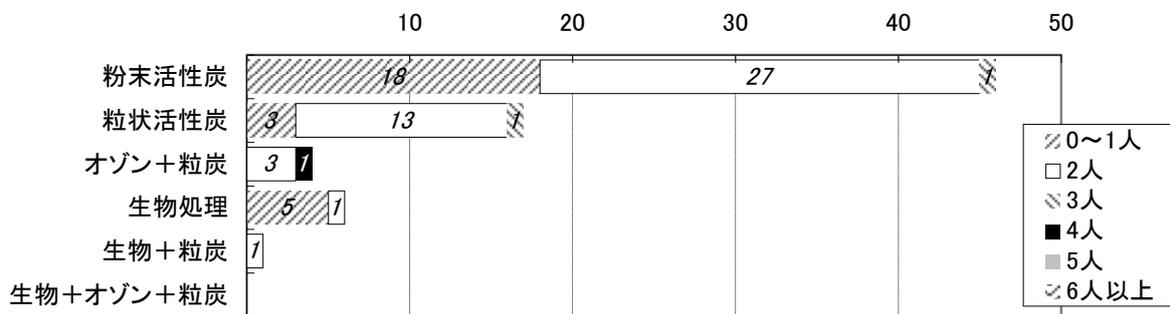


図-3-2-27 運転管理人数（休日夜間・施設能力 10,000~50,000 m³/日）

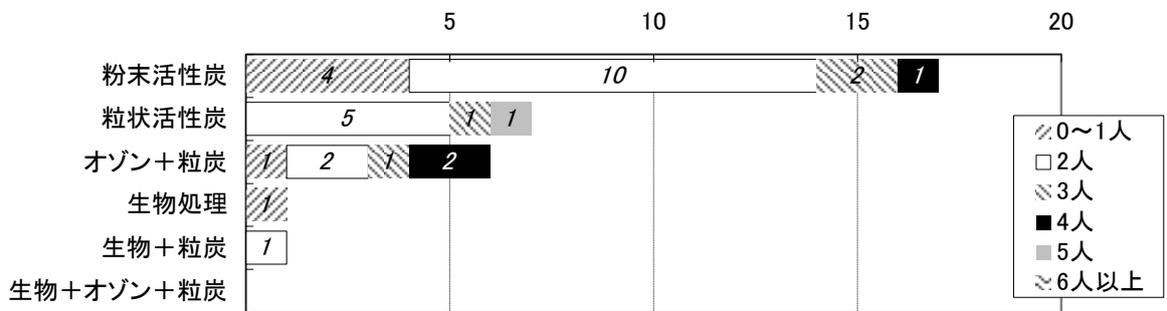


図-3-2-28 運転管理人数（休日夜間・施設能力 50,000~100,000 m³/日）

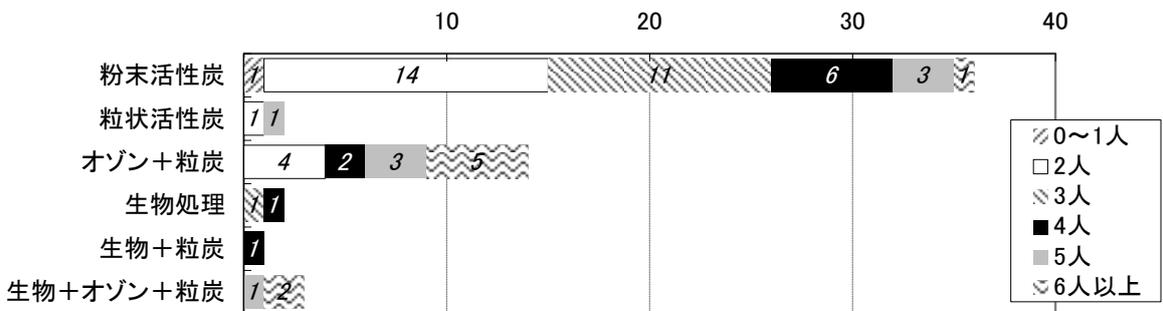


図-3-2-29 運転管理人数（休日夜間・施設能力 100,000 m³/日以上）

(4) 高度浄水処理の建設費

図-3-2-30～図-3-2-40は、高度浄水処理に係る建設費と施設能力の関係について示したものである。建設費の合計に着目すると、浄水場毎にばらつきはあるものの、粉末活性炭<粒状活性炭<生物処理<オゾン処理の順に高価となっている。また、大規模の浄水場ほど単位水量当たりの建設費は小さくなる傾向が見られる。なお、平成元年以降の浄水場のみでグラフを作成し、建設された年代の影響を確認したが、ほぼ同様の傾向が認められた。

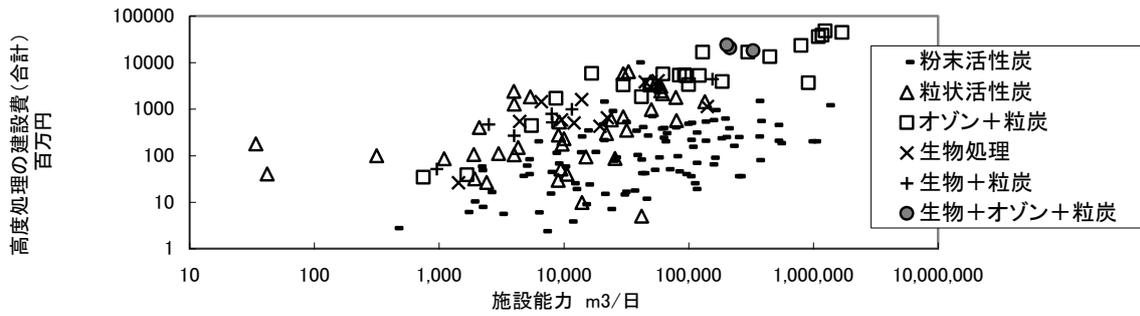


図-3-2-30 高度浄水処理の建設費（合計）

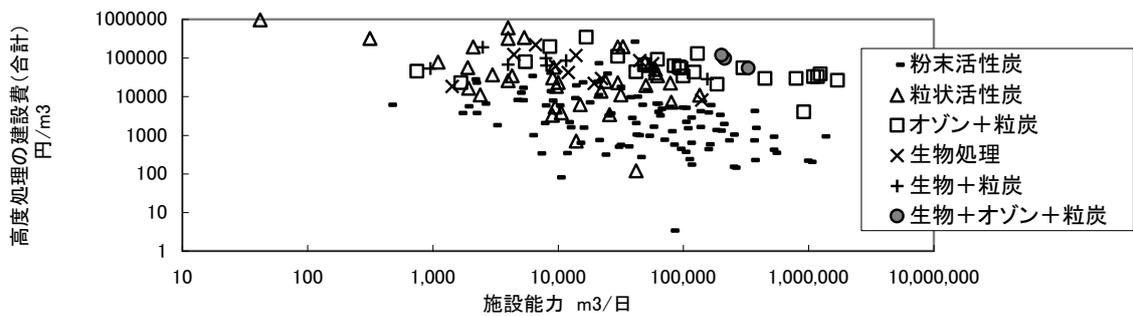


図-3-2-31 高度浄水処理の建設費（合計・単位水量当たり）

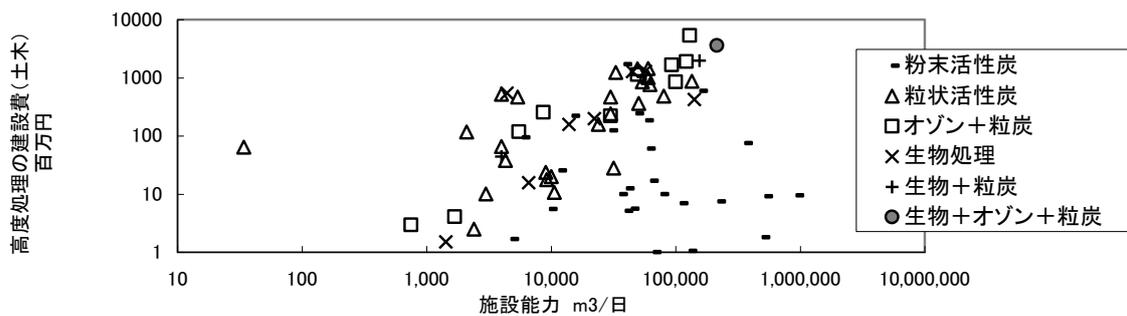


図-3-2-32 高度浄水処理の建設費（土木）

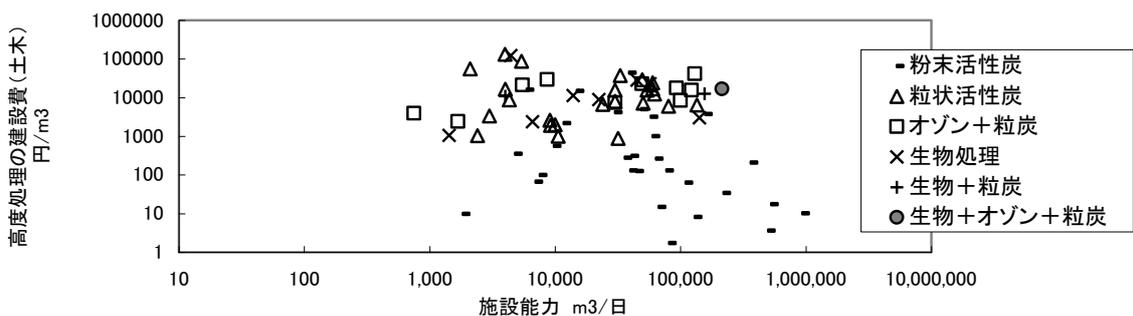


図-3-2-33 高度浄水処理の建設費（土木・単位水量当たり）

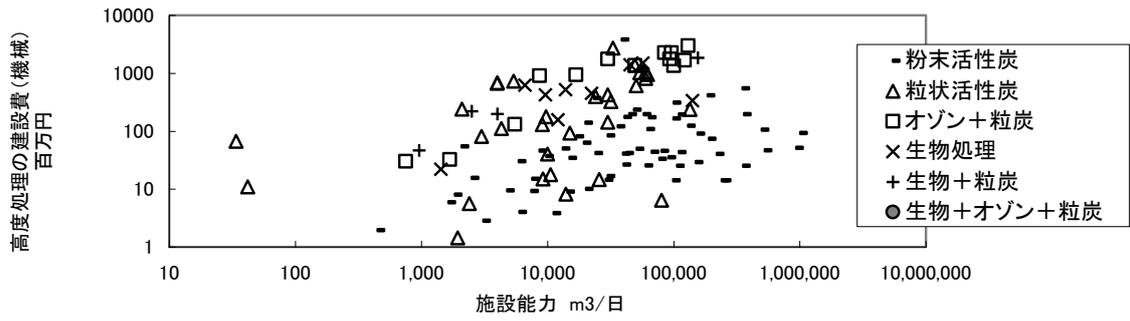


図-3-2-34 高度浄水処理の建設費（機械）

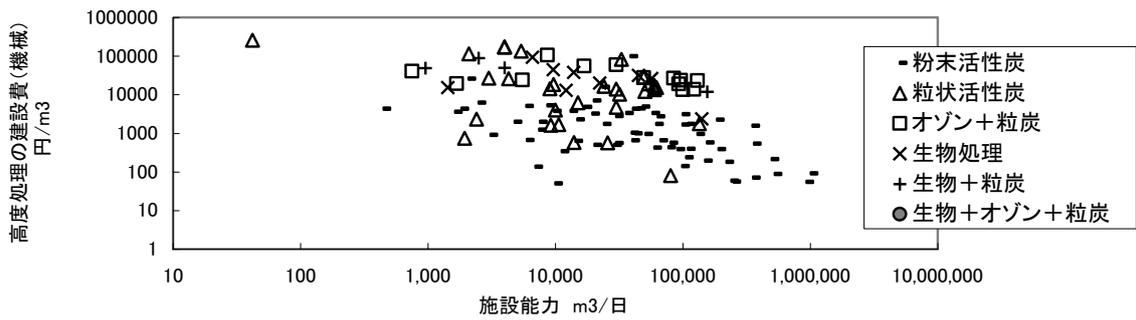


図-3-2-35 高度浄水処理の建設費（機械・単位水量当たり）

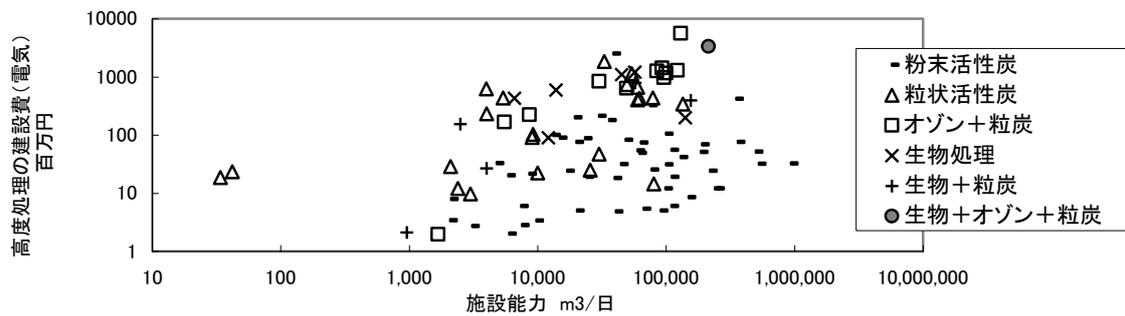


図-3-2-36 高度浄水処理の建設費（電気）

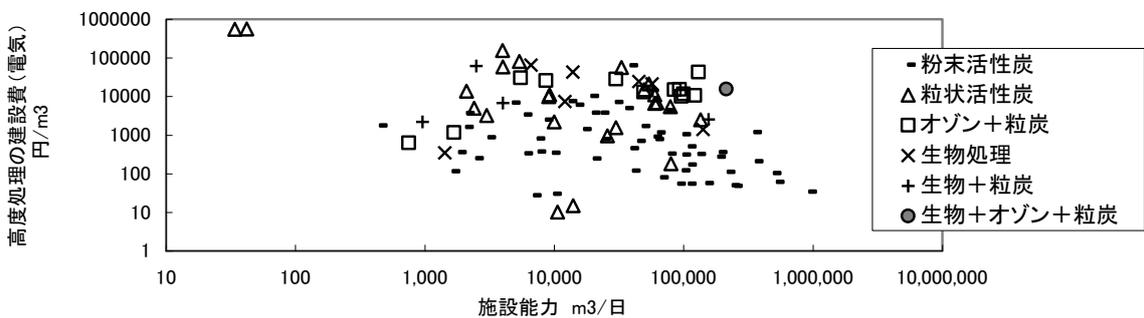


図-3-2-37 高度浄水処理の建設費（電気・単位水量当たり）

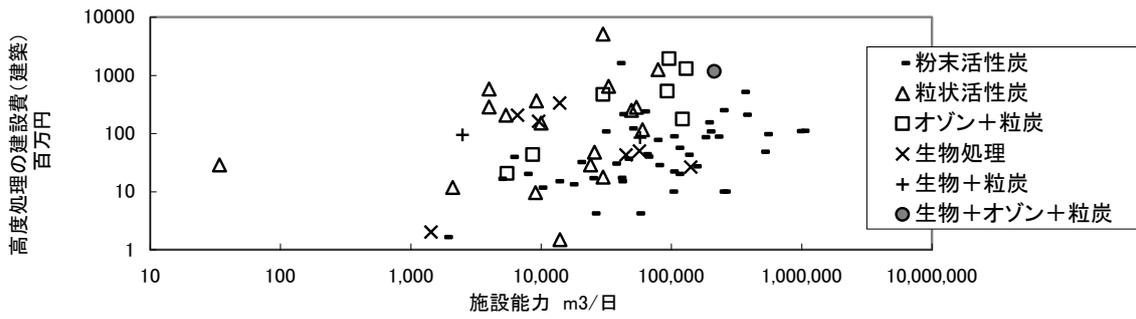


図-3-2-38 高度浄水処理の建設費（建築）

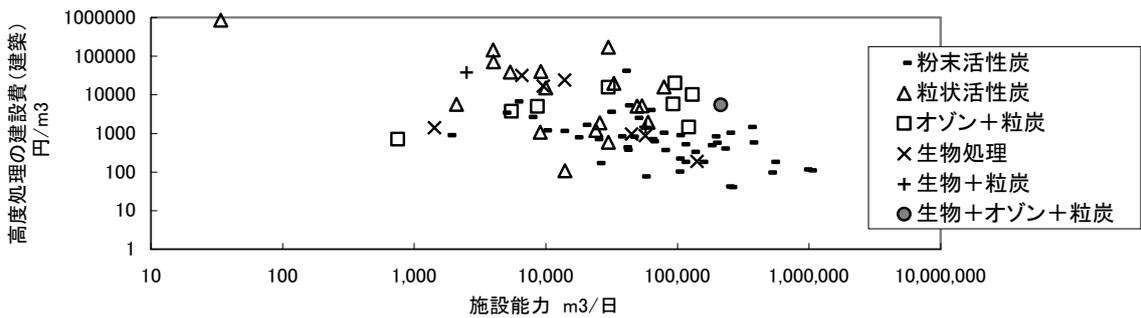


図-3-2-39 高度浄水処理の建設費（建築・単位水量当たり）

(5) 高度浄水処理の運転・維持管理費

図-3-2-40～図-3-2-47 は、高度浄水処理の運転・維持管理費と施設能力の関係について示したものである。運転・維持管理費の合計に着目すると、浄水場毎にばらつきはあるものの、粉末活性炭<粒状活性炭<生物処理<オゾン処理の順に高価となっている。また、大規模の浄水場ほど単位水量当たりの運転・維持管理費は小さくなる傾向が見られる。

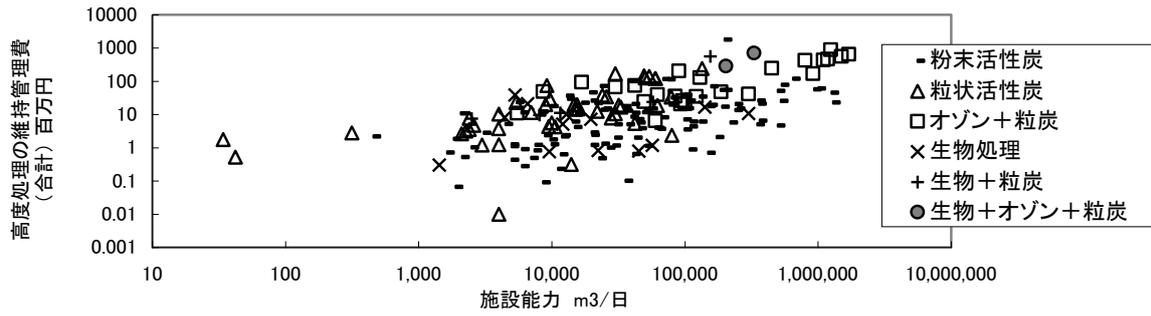


図-3-2-40 高度浄水処理の運転・維持管理費（合計）

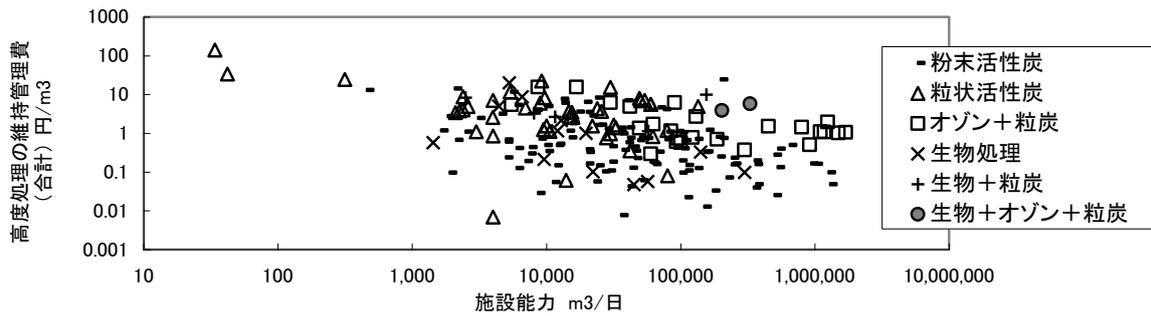
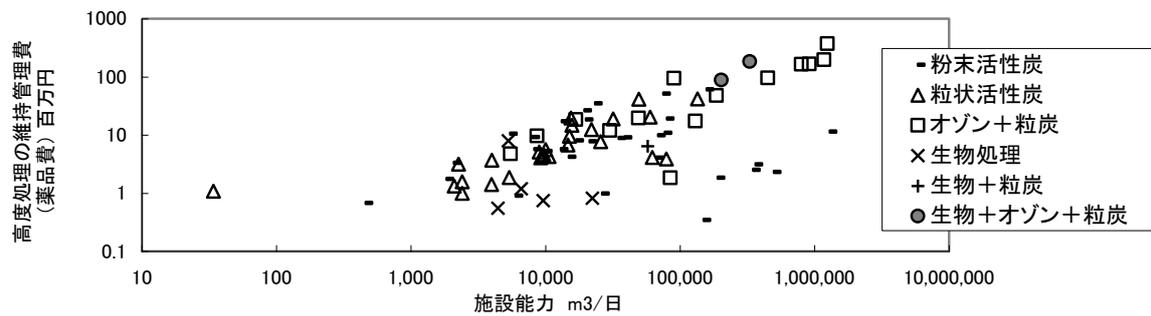


図-3-2-41 高度浄水処理の運転・維持管理費（合計・単位水量当たり）



(粉末活性炭については、他の薬品と同様、年間の処理水量を分母としている。)

図-3-2-42 高度浄水処理の運転・維持管理費（薬品費）

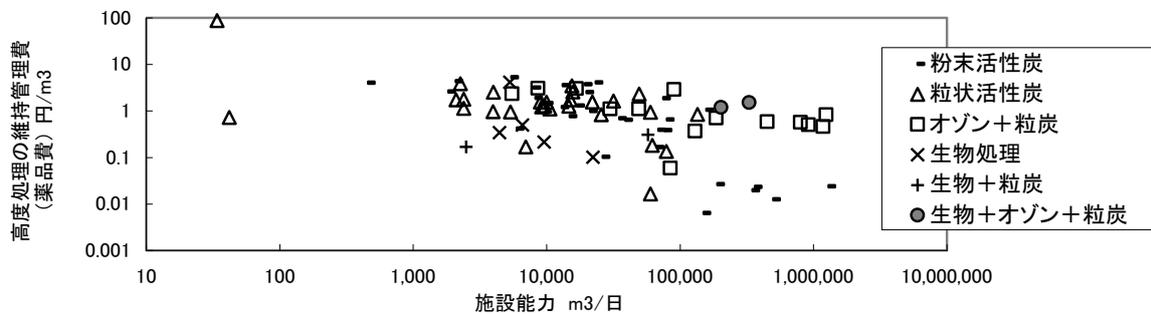


図-3-2-43 高度浄水処理の運転・維持管理費（薬品費・単位水量当たり）

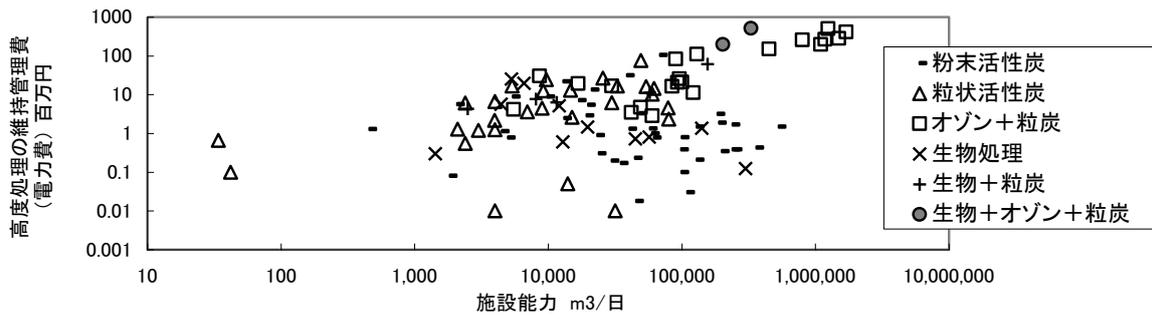


図-3-2-44 高度浄水処理の運転・維持管理費（電力費）

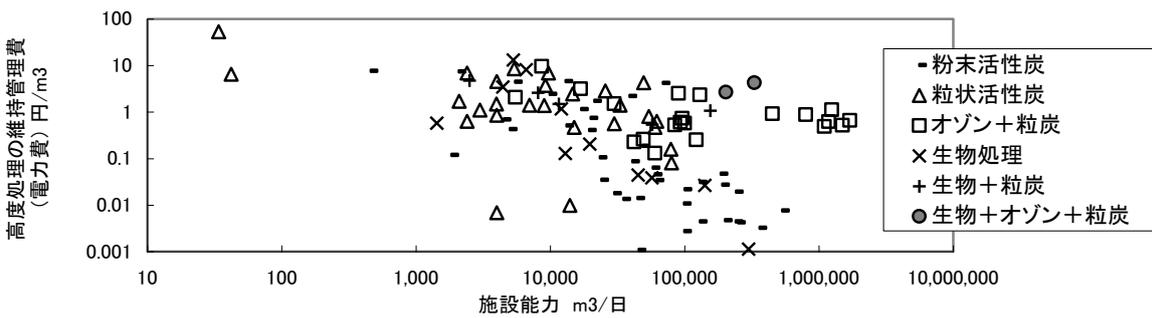


図-3-2-45 高度浄水処理の運転・維持管理費（電力費・単位水量当たり）

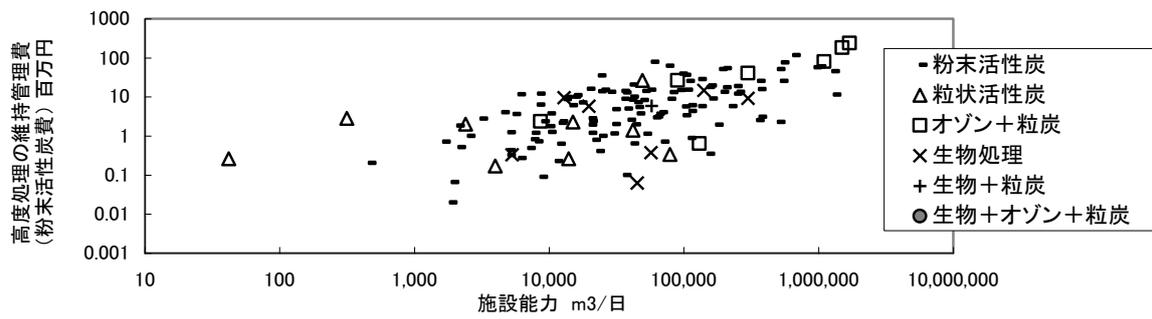


図-3-2-46 高度浄水処理の運転・維持管理費（粉末活性炭費）

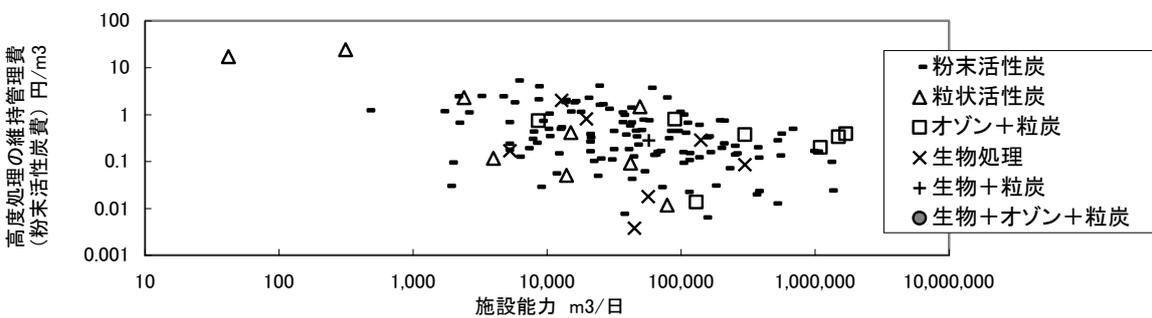


図-3-2-47 高度浄水処理の運転・維持管理費（粉末活性炭費・単位水量当たり）

(6) 中間ポンプの有無

図-3-2-48は、浄水場内における中間ポンプの有無を集計した結果である。粉末活性炭処理を行っている浄水場では中間ポンプを有する比率は低いが、粒状活性炭やオゾン処理を行っている浄水場では、その比率が高くなっている。粉末活性炭については、取水施設、着水井、粉末活性炭吸着池等に注入設備を設けるため、既設の浄水場に後から設置する場合であっても浄水場の水位高低に影響することはないが、粒状活性炭処理やオゾン処理を後から設置する場合には、通水に必要な水位を確保するために中間ポンプを必要とするケースが多いものと推察される。

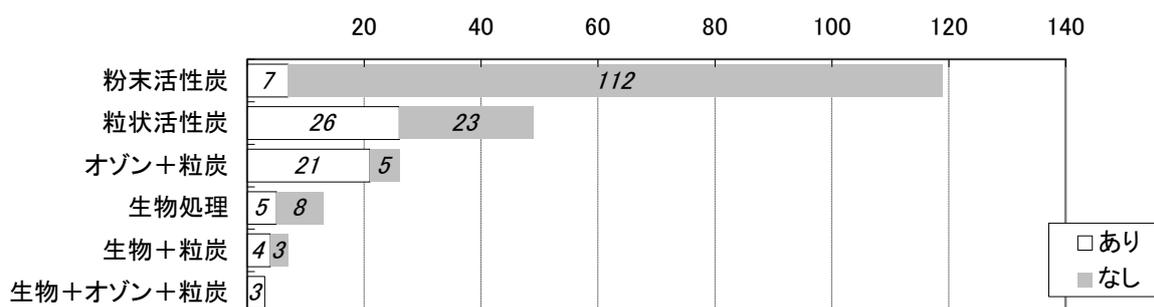


図-3-2-48 中間ポンプの有無

(7) 塩素接触池の有無

図-3-2-49～図-3-2-50は、塩素接触池の有無について集計した結果である。

前塩素は、原水中に含まれる鉄、マンガン、アンモニア等の除去、沈澱池内での藻類の増殖抑制、沈澱池内の衛生面の確保等を目的として凝集沈澱処理の前段で注入する。原水と塩素を十分に混和させるために薬品混和池や着水井に注入することが一般的であり、設置されている割合は、粉末活性炭が61.1%、粒状活性炭が62.0%、オゾン+粒状活性炭が51.7%、生物処理が46.2%等となっている。

中間塩素は、前塩素処理によって生じうる課題（消毒副生成物の生成、藻類の破壊によるかび臭物質の放出等）の回避や、ろ過池での除鉄・除マンガン処理等を目的として沈澱池とろ過池の間で注入する。必ずしも接触池を設けない場合もあり、設置されている割合は、粉末活性炭が44.2%、粒状活性炭が47.1%、オゾン+粒状活性炭が51.7%、生物処理が38.5%等となっている。

後塩素は、給水栓水の衛生面での安全を確保し、必要な残留塩素を保持するためにろ過池の後段で注入する。塩素混和池や浄水池の入口等で注入することが一般的であり、設置されている割合は、粉末活性炭が60.3%、粒状活性炭が59.6%、オゾン+粒状活性炭が72.4%、生物処理が64.3%等となっている。

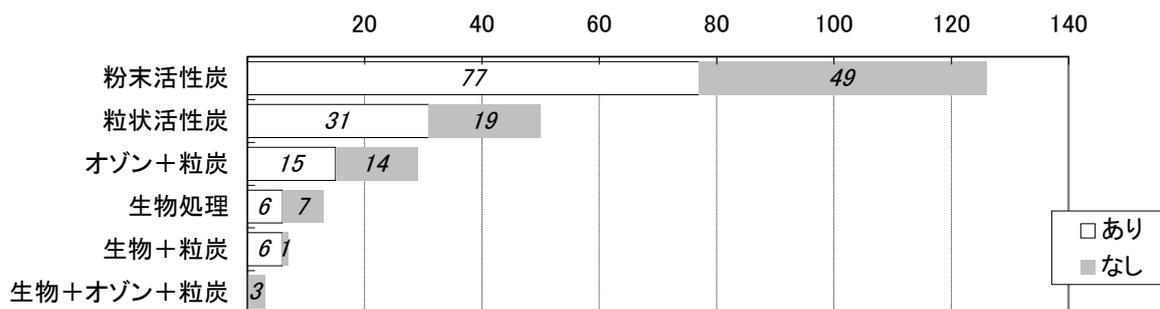


図-3-2-49 塩素接触池の有無（前塩素）

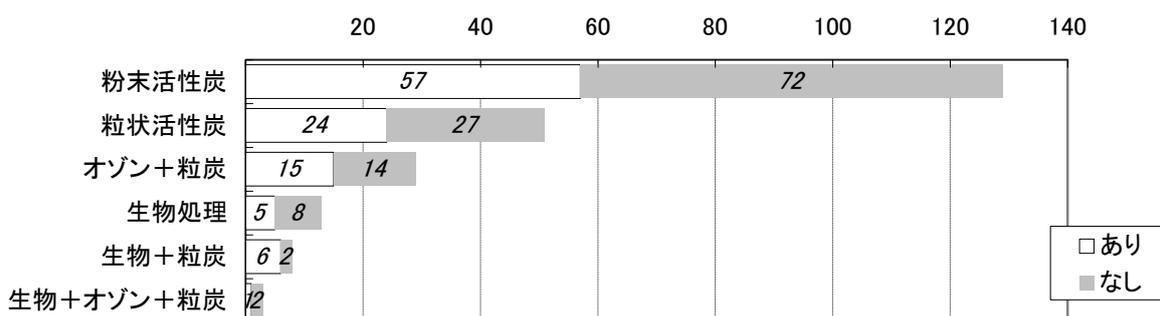


図-3-2-50 塩素接触池の有無（中間塩素）

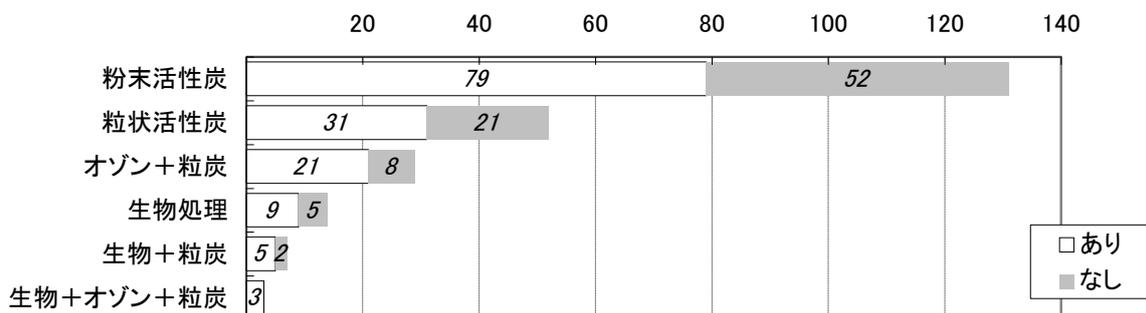


図-3-2-51 塩素接触池の有無（後塩素）

2) 粉末活性炭処理設備に関する事項

(1) 粉末活性炭の諸元

① 粉末活性炭の種類

図-3-2-52 は、粉末活性炭の種類について集計した結果である。活性炭の種類としては、主に木質系、石炭系、石油系があるが、特に粉末活性炭の場合は、おが屑やヤシ殻等を原料とすることが一般的であり、アンケート結果によると、ほとんどの浄水場で木質系の粉末活性炭が採用されている。

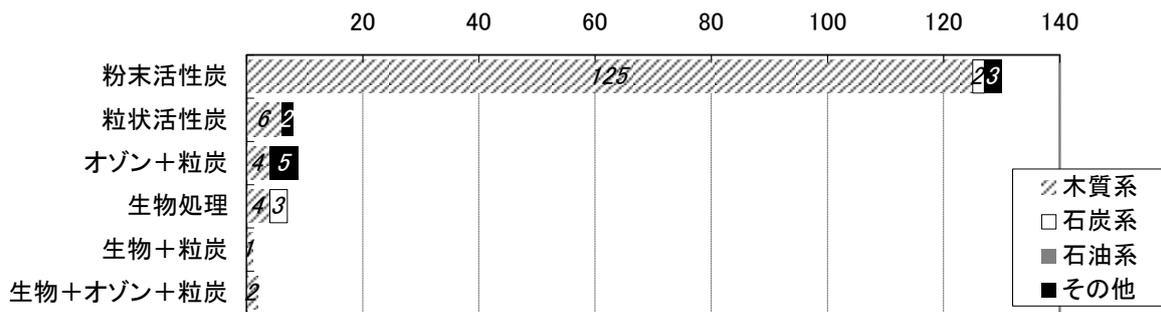


図-3-2-52 粉末活性炭の種類

② 粉末活性炭の平均孔径

図-3-2-53 は、粉末活性炭の平均孔径について集計した結果である。水道施設設計指針によると、粉末活性炭では直径 1~20 nm、粒状活性炭では 10 nm 以下の細孔が多いとされている。アンケート結果によると、粉末活性炭処理を行っている浄水場の 8 割強では 20 nm 以下であるが、2 割弱では平均孔径 20 nm 以上の粉末活性炭を使用している浄水場もみられる。

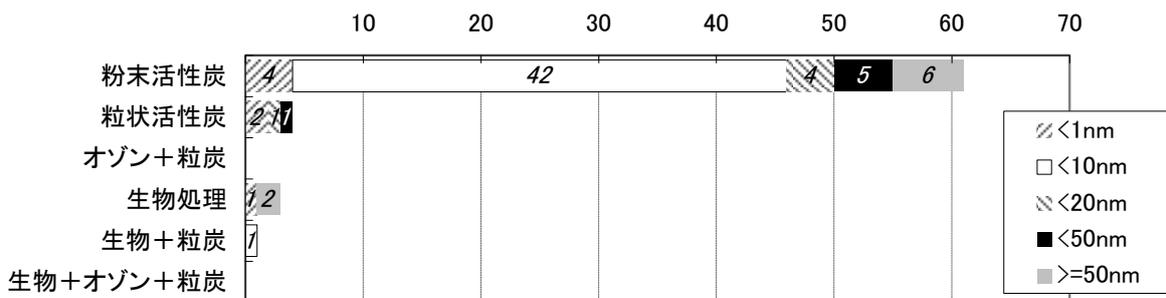


図-3-2-53 粉末活性炭の平均孔径

(2) 粉末活性炭注入設備等の施設諸元

① 粉末活性炭の注入方式

図-3-2-54 は、粉末活性炭の注入方式について集計した結果である。粉末活性炭の主な注入方式としては、水分 50%程度 of ウェット炭をスラリー液にして注入するスラリー式（湿式）と、水分 5~10%程度 of ドライ炭を粉末のまま計量し、混合槽で水と混合してスラリー液にしたものを注入するドライ式（乾式）がある。基本的には古くから導入されているスラリー式が多いが、粉末活性炭処理方式の浄水場のうち 17 箇所では、比較的新しい技術であるドライ式を採用している。なお、粉末活性炭処理方式の浄水場について、注入方式を年代別に集計すると、図-3-2-55 に示すとおり近年はドライ式が採用される割合が高くなっている。

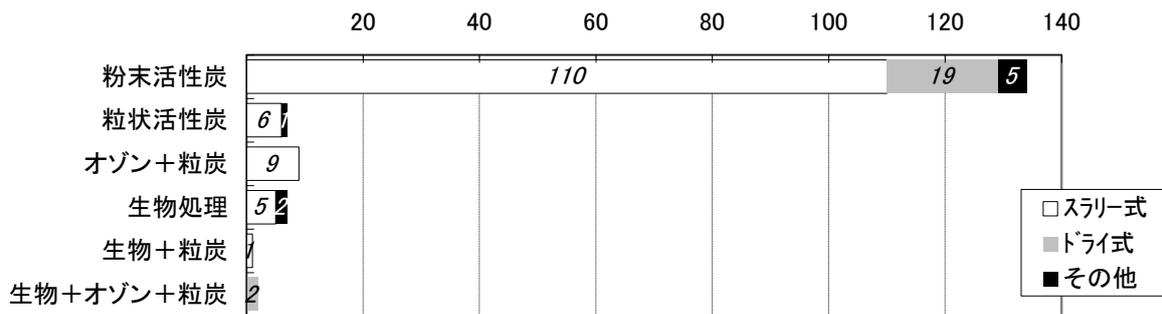
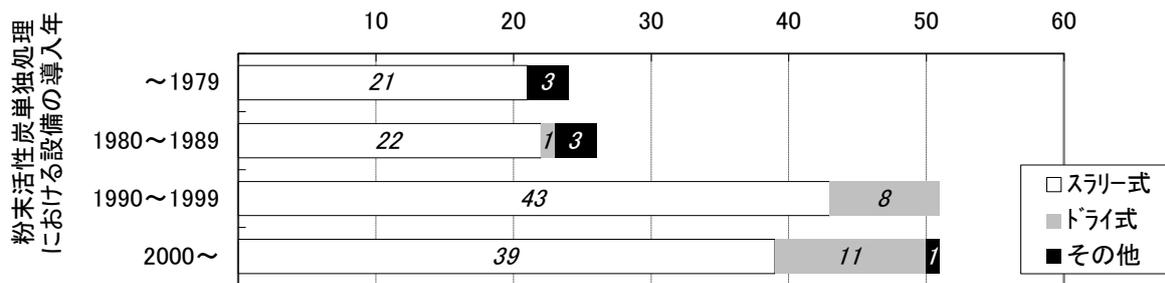


図-3-2-54 粉末活性炭の注入方式



(高度浄水処理の導入年が不明の浄水場があるため、合計は132箇所には一致しない)

図-3-2-55 粉末活性炭注入設備の導入年

② 粉末活性炭の注入点

図-3-2-56は、粉末活性炭の注入点について集計した結果である。粉末活性炭処理は、凝集沈澱処理を行う前の原水に粉末活性炭を注入し、原水中の異臭味物質、微量有害物質、溶解性の有機物等を吸着させた後に凝集沈澱+急速ろ過で除去する方式である。処理性の観点から接触時間を長く確保することが有利であり、浄水処理の前段に位置する導水管や着水井のほか、粉末活性炭接触池を設けることで接触時間を確保するケースも見られる。

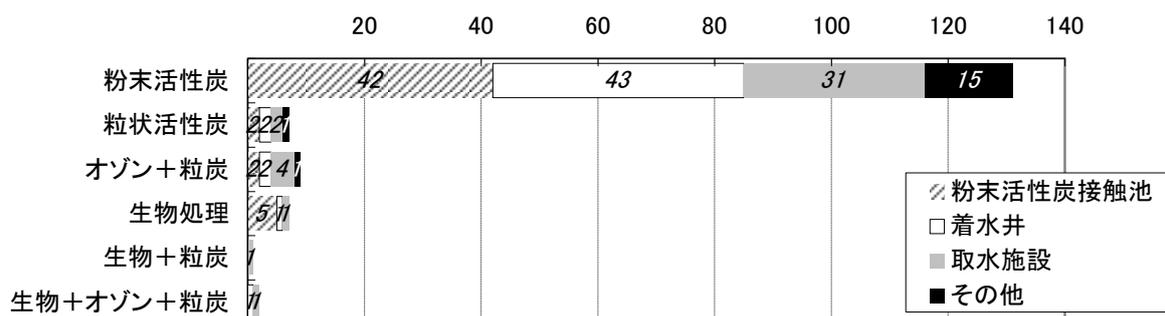


図-3-2-56 粉末活性炭の注入点

③ 粉末活性炭接触池の有無

図-3-2-57は、粉末活性炭接触池の有無について集計した結果である。上記②に示した注入点のうち、既存の施設を活用する場合には取水施設や着水井で注入することが一般的であるが、水と粉末活性炭の十分な混和と接触を得る上では粉末活性炭接触池を設け、必要に応

じて攪拌機を設置することが効果的である。アンケート結果によると、粉末活性炭処理方式の浄水場では、約半数で接触池を設置している。

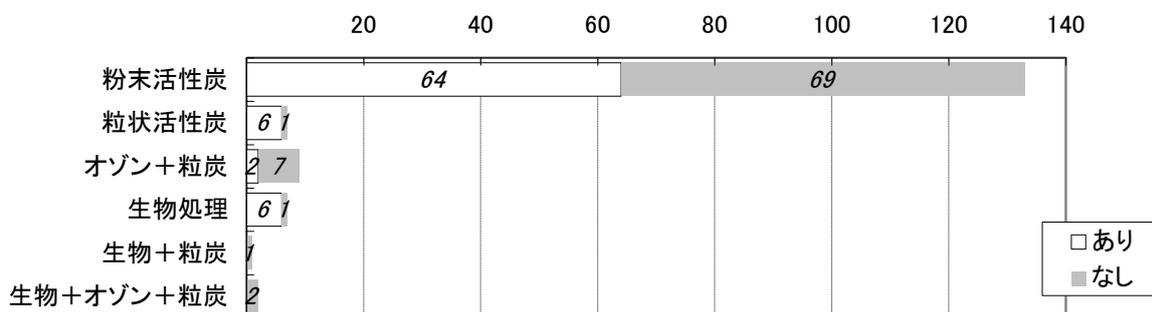


図-3-2-57 粉末活性炭接触池の有無

④ 粉末活性炭の接触時間（設計値）

図-3-2-58 は、粉末活性炭接触池の接触時間（設計値）について集計した結果である。粉末活性炭処理による吸着効果を得るためには、接触時間を多く確保することが有利であり、水道施設設計指針（2000）によると、その目安として「少なくとも20分以上とし、処理効果を十分得るためには1時間程度が望ましい。しかし、必要な接触時間は、原水水質、除去対象物質などによって異なるので、実験によって決定することが望ましい」との記述がある。粉末活性炭処理方式の浄水場について、この目安と比較すると94.4%で20分以上、50.8%で60分以上の接触時間が確保されている。

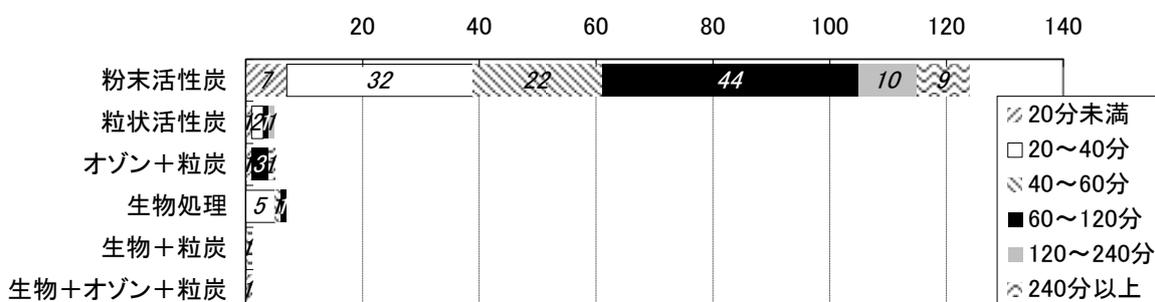


図-3-2-58 粉末活性炭の接触時間（設計値）

(3) 粉末活性炭注入設備等の維持管理

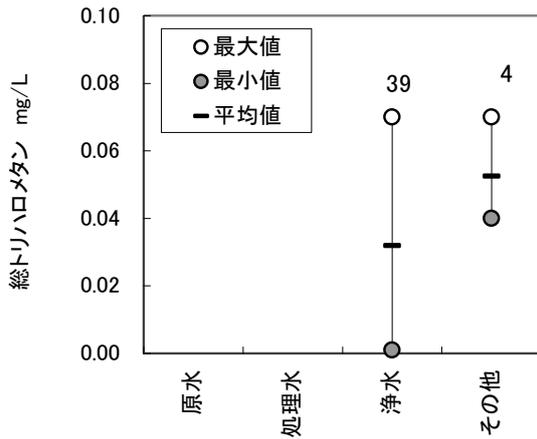
図-3-2-59～図-3-2-60 は、粉末活性炭の注入管理を行う際の処理対象項目、管理目標点、水道水質基準値よりも厳しい濃度で設定された管理目標濃度の幅を集計した結果である。

① 対象とする水質項目

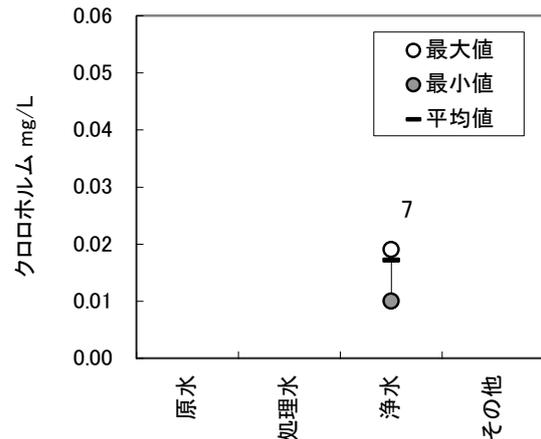
粉末活性炭の注入管理を行う際の対象項目としては、総トリハロメタン等の消毒副生成物、2-MIB やジェオスミン等のかび臭物質、全有機炭素（TOC）、水の基礎的性状である濁度や色度等を挙げている。

② 管理目標点・管理目標濃度

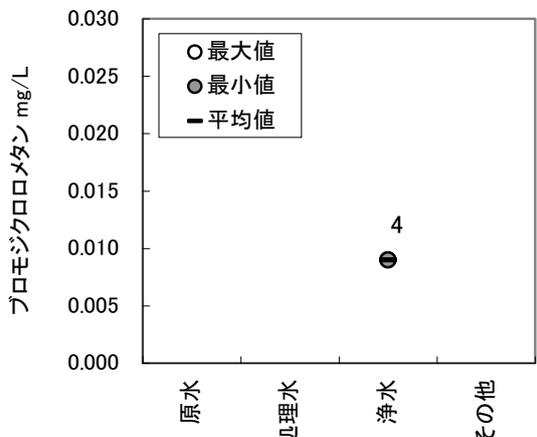
粉末活性炭の注入管理を行う際の管理目標点については、注入点の前段（原水）の濃度をもとに設定する場合と、注入点の後段（沈澱処理水、浄水）の濃度をもとに設定する場合がある。また、平均値に着目すると、特に浄水に対して目標濃度を設定する場合には、水道水質基準値よりも低い値を設定するケースが多いことが伺える。



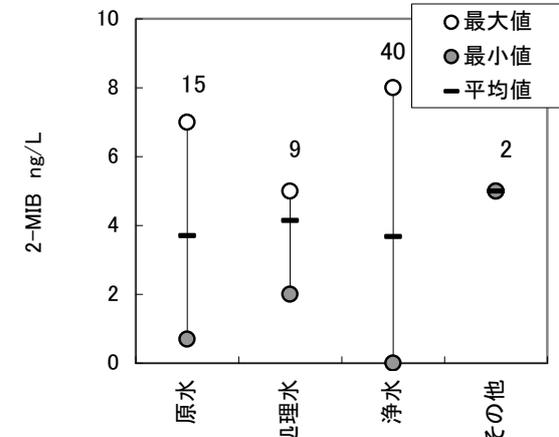
水道水質基準
0.1mg/L



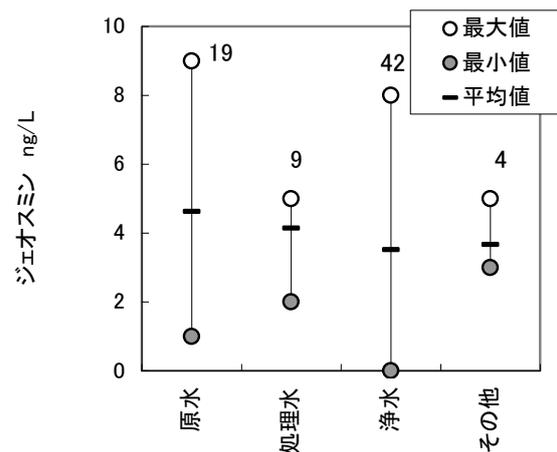
水道水質基準
0.06mg/L



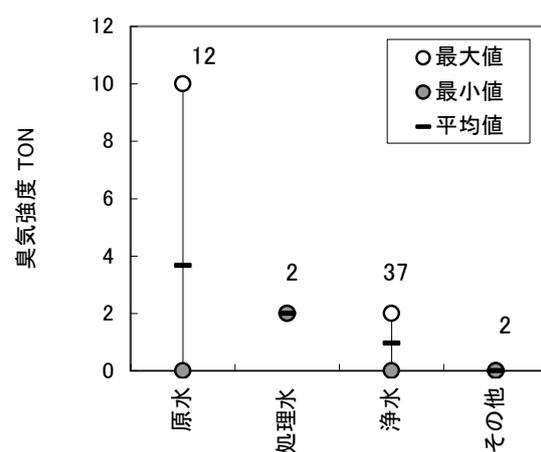
水道水質基準
0.03mg/L



水道水質基準
10 ng/L

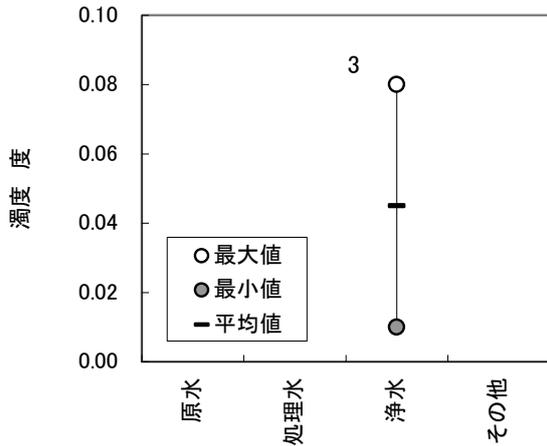


水道水質基準
10 ng/L

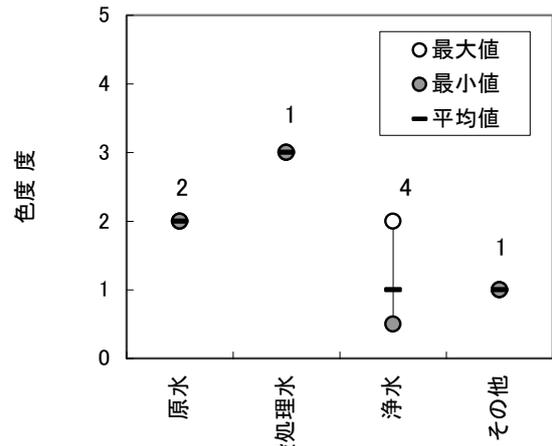


水道水質基準は
定められていない

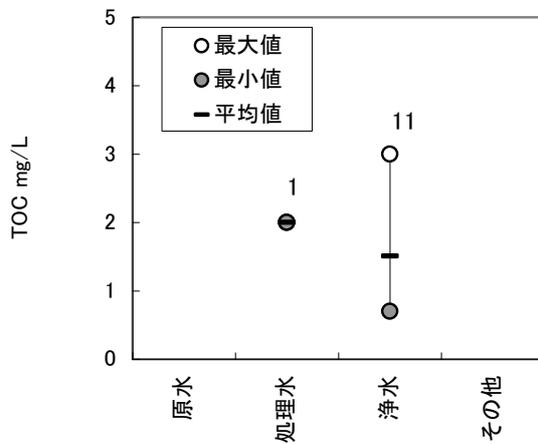
図-3-2-59 粉末活性炭による処理対象項目・管理目標点・濃度 (1)



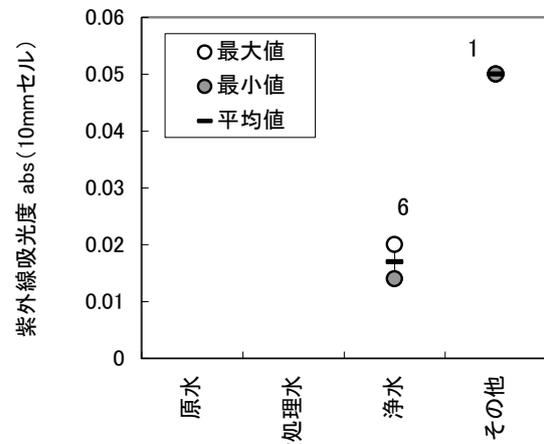
水道水質基準
2度



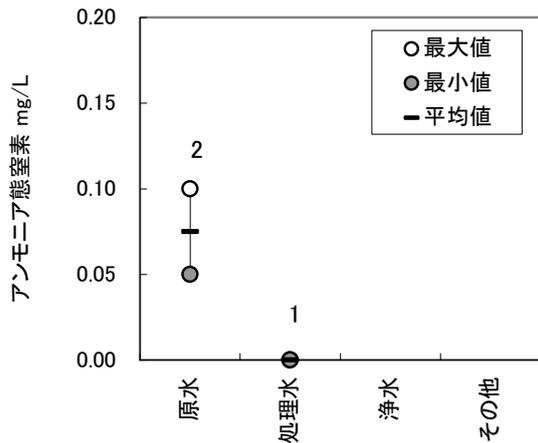
水道水質基準
5度



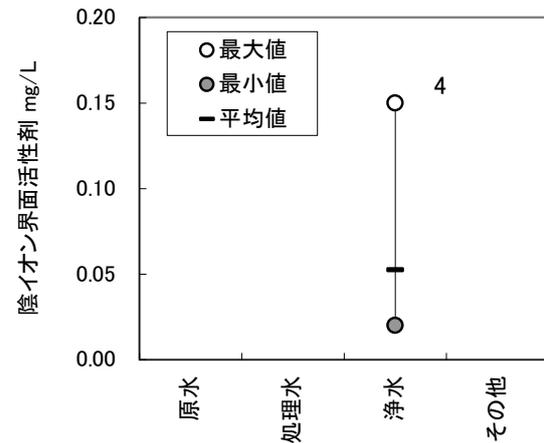
水道水質基準
5 mg/L
(H21年度から3 mg/L)



水道水質基準は
定められていない



水道水質基準は
定められていない



水道水質基準
0.2 mg/L

図-3-2-60 粉末活性炭による処理対象項目・管理目標点・濃度 (2)

③ 維持管理上の留意事項

粉末活性炭処理における維持管理上の留意事項として挙げられたものを集約すると、以下に示すように注入率の設定に関するものと注入設備の維持管理に関するものに分類される。

a) 粉末活性炭注入率の設定に関する事項

- ・ 原水の 2-MIB、ジェオスミン濃度に応じた粉末活性炭注入率の適正管理を行う。
- ・ 過剰注入とならないように注入管理を行う。
- ・ 注入試験を行い、原因物質別に必要注入率を設定する。
- ・ かび臭物質が検出されなくても、水道水の味が悪くなった場合は粉末活性炭を注入するようにしている。
- ・ 粉末活性炭の適正な注入率を決定する際、原水の塩素要求量の値も参考にしている。
- ・ 官能法により定期的（1 時間に 1 回）に臭気を確認し、異常があったと判断した場合は注入率を増加させる。
- ・ 粉末活性炭注入率の変動に伴う浄水の残留塩素の変動に留意している。
- ・ ダムの放流状況、及び気温の上昇等に伴う水質の変化に留意している。
- ・ 前々塩素の注入の有無による、カビ臭物質に対する粉末活性炭の吸着能の違いに留意している。
- ・ 中塩素注入率が上昇傾向になったときに粉末活性炭の注入を強化している。
- ・ 上流ダム湖で「アオコ」が発生するため、かび臭が発生した場合に備え、予防措置として粉末活性炭注入を行っている。

b) 注入設備の維持管理に関する事項

- ・ スラリー槽の定期的な攪拌を行っている。
- ・ ホッパー内の粉末活性炭の残量が少なくなると、攪拌により圧着し注入不良が起こる。
- ・ 粉末活性炭の保存状態によって処理能力が低下するので、年度の最初は処理効果の確認を行う。また、注入量を増やした際の注入配管の詰まりによる流量低下に注意している。
- ・ 注入ポンプから注入点までの配管内に粉末活性炭が沈降して注入不良の原因を起すため、常に配管内の洗浄が必要である。
- ・ 粉末活性炭が注入配管内で詰まり、注入不良が発生しないよう注意している。
- ・ 在庫管理の徹底により、常に新しい粉末活性炭を使用するようにしている。
- ・ 活性炭注入装置の詰まりによる注入不良を起こさないように注意している。
- ・ 粉末活性炭の溶解槽の水位を監視している。
- ・ 注入停止時には、溶解槽、注入配管、注入ポンプ等の洗管及び水への置換を行っている。
- ・ 定量供給機の詰まり及びホッパー残量を注視している。
- ・ 注入ライン（配管及びストレーナ）を定期的に清掃している。
- ・ 緊急等に備え、適正な在庫管理を行っている。
- ・ 粉末活性炭を注入しない時期には、貯蔵槽内に活性炭を残さないようにしている。

- ・凝集沈澱処理水中に粉末活性炭が流出しないようにしている。
- ・即時注入可能とするため、常にスラリーの攪拌状況に注意している。

3) 粒状活性炭処理設備に関する事項

(1) 粒状活性炭の諸元

① 活性炭の種類

図-3-2-61は、粒状活性炭の種類について集計した結果である。活性炭の種類としては、主に木質系、石炭系、石油系があり、粉末活性炭の場合は、おが屑やヤシ殻等の木質系が一般的であるが、粒状活性炭の場合は石炭系の占める比率も高く、特にオゾン処理を行っている浄水場では大部分が石炭系を採用している。なお、木質系活性炭は直径3nm以下の細孔が多く、30nm以上の大きな細孔は少ないため、低分子量の物質が除去されやすい。一方、石炭系は3nmからかなり大きな細孔まで幅広く存在しており、分子量の大きな物質も除去しやすい。

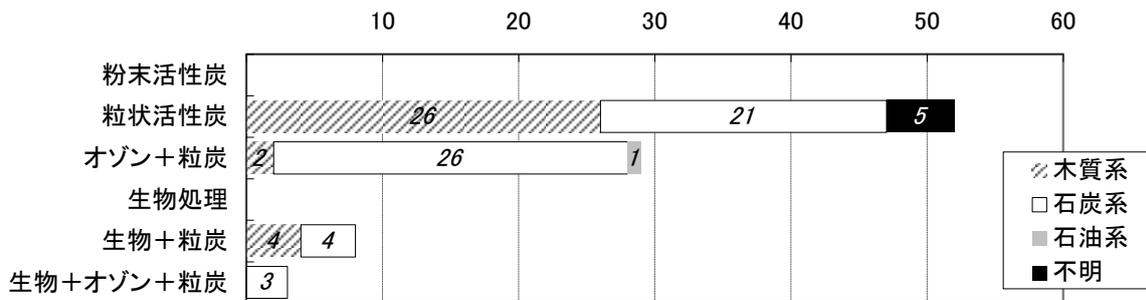
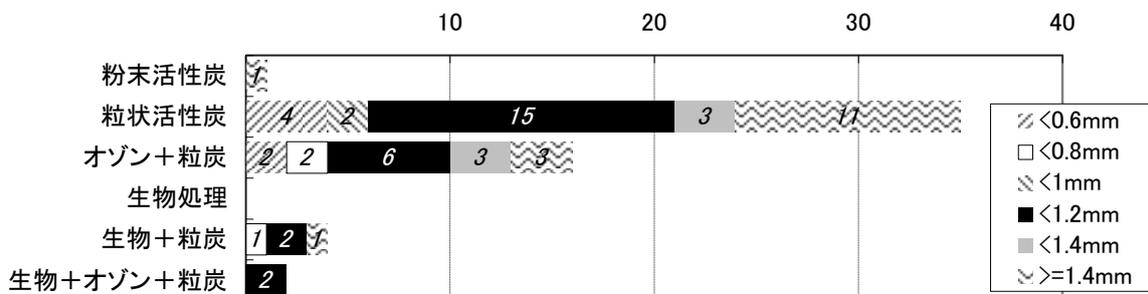


図-3-2-61 粒状活性炭の種類

② 粒状活性炭の平均粒径

図-3-2-62は、粒状活性炭の平均粒径について集計した結果である。一般に粒状活性炭の前段にろ過がない場合は、濁質の目詰まりの観点から粒径の大きい活性炭を使用し、粒状活性炭の前段にろ過がある場合や上向流方式の場合には、粒径の小さい活性炭を使用する。



(0.9~1.1のように幅で回答されたものについては、上下限の平均値を算出し集計した)

図-3-2-62 粒状活性炭の平均粒径

③ 粒状活性炭の有効径

図-3-2-63は、粒状活性炭の有効径について集計した結果である。有効径はろ材粒子の代表径として広く使われる諸元であり、ろ材粒子のふるいわけ試験において、通過重量百分率10%のろ材粒子径をmm単位で表したものである。一般に有効径より小さい粒子数と大きい粒子数はほぼ同じになるとされている。

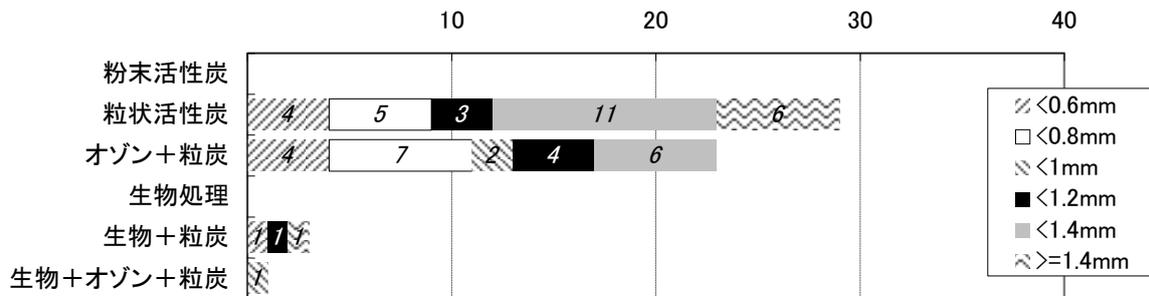


図-3-2-63 粒状活性炭の有効径

④ 粒状活性炭の均等係数

図-3-2-64は、粒状活性炭の均等係数について集計した結果である。均等係数は粒径累積曲線での60%通過径(d_{60})と10%通過径(d_{10} :上記③の有効径)との比(d_{60}/d_{10})であり、この値が1に近いほど粒径が揃い、ろ層の空隙率が大きくなる。このため、一般に粒状活性炭の前段にろ過がない場合は、濁質の目詰まりの観点から均等係数の小さい(空隙率の大きい)活性炭を使用し、粒状活性炭の前段にろ過がある場合は均等係数の大きい(空隙率の小さい)活性炭を使用する。

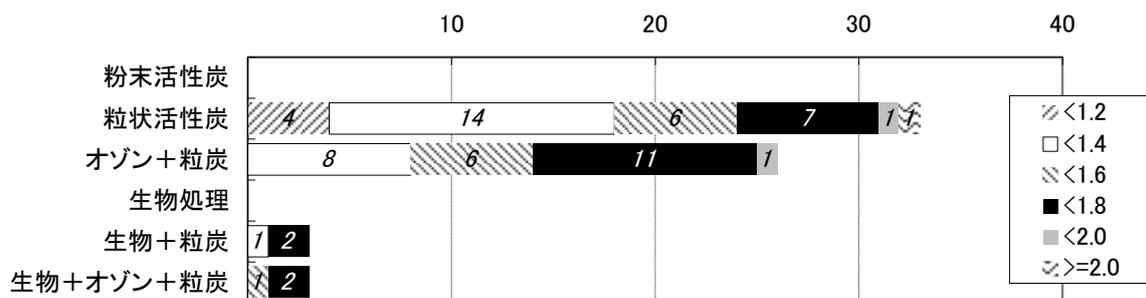


図-3-2-64 粒状活性炭の均等係数

⑤ 粒状活性炭の機能

図-3-2-65は、粒状活性炭の機能について集計した結果である。粒状活性炭処理方式ではGAC(吸着活性炭)の比率が高いが、粒状活性炭+オゾン処理方式の場合はBAC(生物活性炭)を採用する比率がやや高めとなっている。粒状活性炭処理の前段で塩素処理を行わず、かつオゾン処理を行う場合、難分解性有機物を易分解性に転換するとともに、オゾン処理水の溶存酸素が飽和となって後段の粒状活性炭層内での生物化学的作用が期待できること等により、

こうした違いが生じているものと推察される。

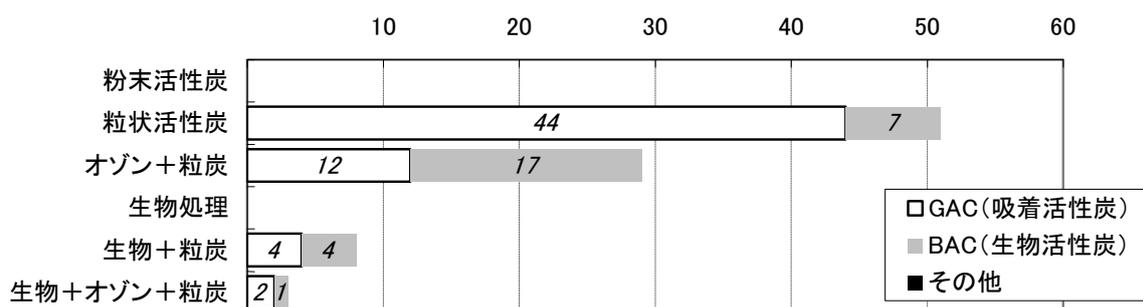


図-3-2-65 粒状活性炭の機能

(2) 粒状活性炭接触池の諸元

① 通水・炭層方式

図-3-2-66 は、粒状活性炭の通水・炭層方式について集計した結果である。最も多く導入されている方式は重力式下向流固定床であり、次いで圧力式下向流固定床となっている。上向流式については、損失水頭が小さい、頻繁な洗浄を必要としない、流動床上部で排オゾン設備を必要としない等の特徴があるが、全体に占める割合はさほど高くない。

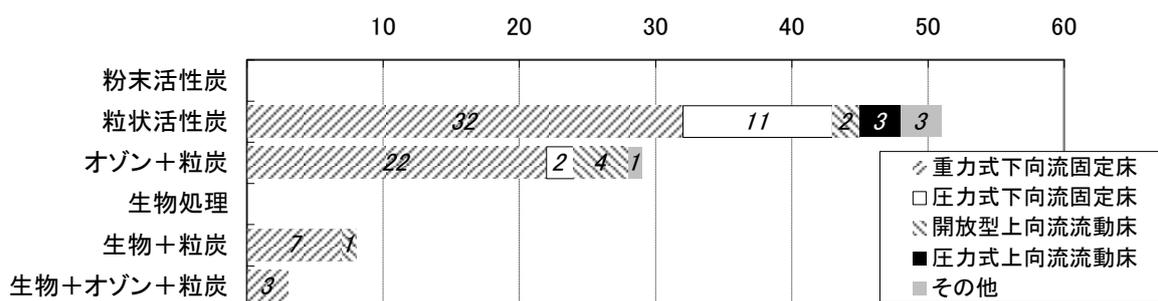


図-3-2-66 活性炭接触池の通水・炭層方式

② 活性炭接触池の下部集水装置の種類

図-3-2-67 は、下部集水装置について集計した結果である。活性炭接触池の下部に設置し、ろ材の支持、ろ過水の集水、逆流洗浄水の均等配分等の機能を併せ持つ下部集水装置には、有孔ブロック型、ストレーナ型、多孔管型、多孔板型がある。粒状活性炭処理方式では、有孔ブロック形とストレーナ形の比率がほぼ等しいが、オゾン処理+粒状活性炭処理では多孔板型の比率が高くなっている。

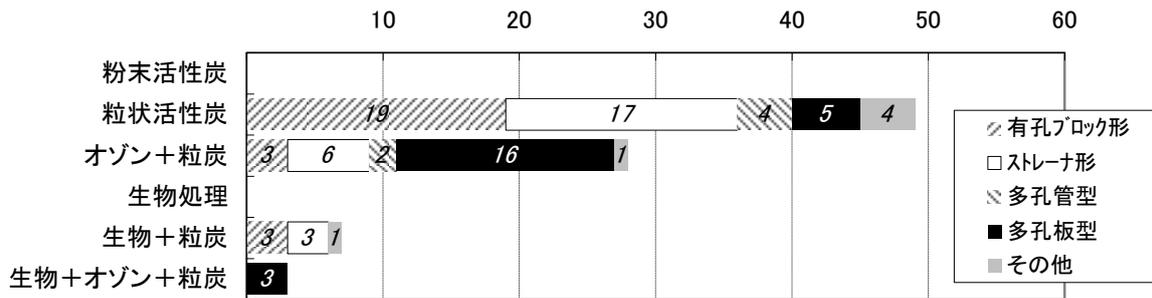


図-3-2-67 活性炭接触池の下部集水装置の種類

③ 粒状活性炭接触池 1 池当たりの池面積

図-3-2-68 は、粒状活性炭接触池 1 池当たりの池面積について集計した結果である。粒状活性炭接触池 1 池当たりの面積については、吸着や洗浄の平面的均一性や専有面積を考慮し、浄水場の規模に応じて適切な大きさに定める必要がある。水道施設設計指針に記載されている範囲（国内外とも 50～100 m²/池程度）と比較すると、粒状活性炭処理方式及びオゾン処理 + 粒状活性炭処理方式では、どちらもおよそ 65% の浄水場が 10～100 m²/池の範囲で設計されている。

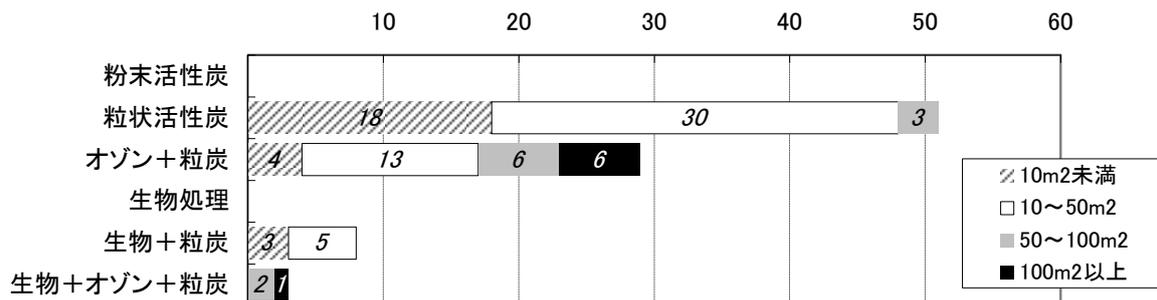


図-3-2-68 活性炭接触池 1 池当たりの池面積

④ 粒状活性炭接触池の池数

図-3-2-69 は、施設能力と粒状活性炭接触池の池数の関係について示したものである。施設能力 (m³/日) を線速度 LV (m/日) で割ると総ろ過面積が算出され、これを池数で割った値が 1 池当たりの池面積となる。よって、1 池当たりの池面積は施設能力のほか、線速度と池数によっても異なるが、全体的な傾向としては施設能力に比例して池数も多くなる傾向が見られる。

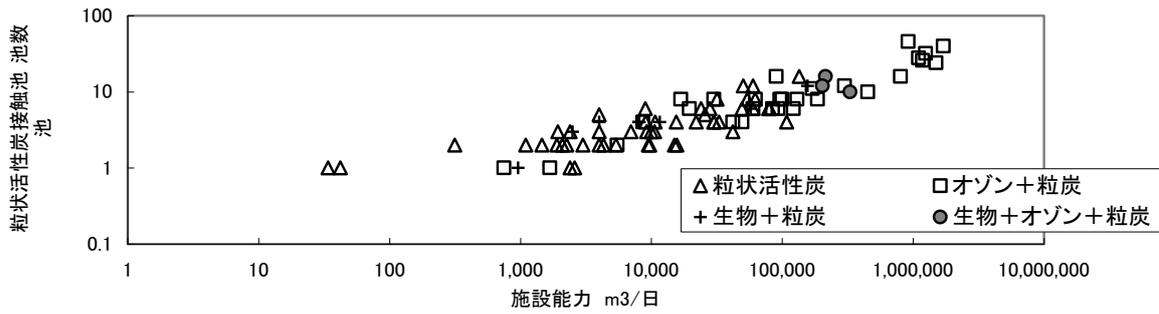


図-3-2-69 活性炭接触池の池数

⑤ 粒状活性炭接触池の総ろ過面積

図-3-2-70 は、施設能力と粒状活性炭接触池の総ろ過面積の関係について示したものである。総ろ過面積については、粒状活性炭接触池の池数と同様、施設能力に比例する傾向が見られる。

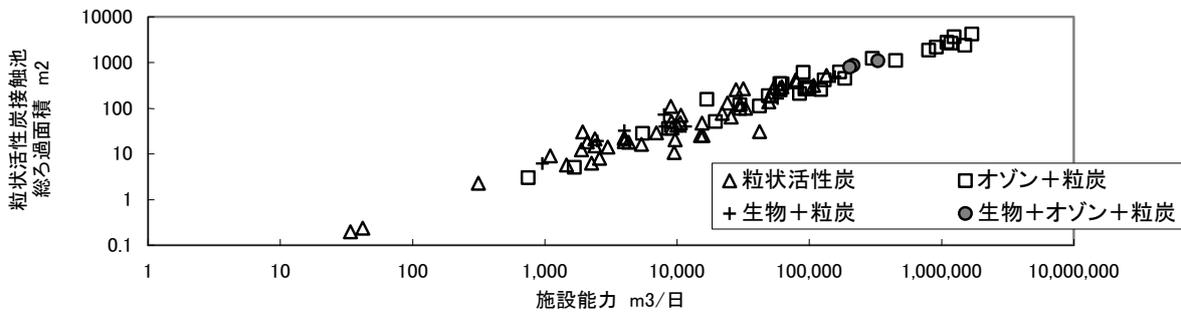


図-3-2-70 活性炭接触池の総ろ過面積

⑥ 粒状活性炭接触池の活性炭層厚

図-3-2-71 は、粒状活性炭接触池の層厚について集計した結果である。水道施設設計指針によると、粒状活性炭の層厚は固定床の場合が1.5～3.0 m、流動床の場合が静止時で1.0～2.0 mとされている。アンケート結果によると、粒状活性炭処理方式では1～2 m未満が41%、2～3 m未満が51%、また、オゾン処理+粒状活性炭処理の場合は2～3 m未満が86%と大部分を占めている。

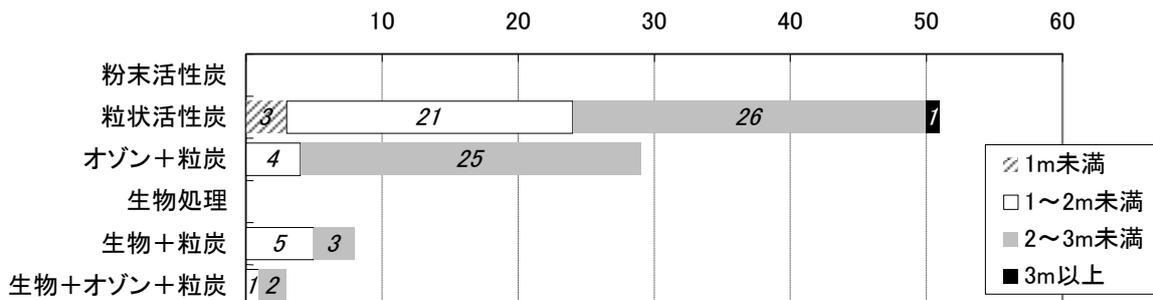


図-3-2-71 活性炭接触池の活性炭層厚

⑦ 粒状活性炭接触池の空間速度 SV（設計値）

図-3-2-72 は、粒状活性炭接触池の空間速度 SV（設計値）について集計した結果である。空間速度 SV は活性炭層を通過する 1 時間当たりの処理水量（ m^3/h ）を粒状活性炭容量（ m^3 ）で割った値で表される。接触時間の逆数であり、1 時間に粒状活性炭の張り込み量（ m^3 ）の何倍の水量を流すかという通水量（ $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ ）を表す重要な諸元である。水道施設設計指針によると $5 \sim 10 (\text{h}^{-1})$ が一般的とされているが、アンケート結果によると、粒状活性炭処理方式では $5 \sim 7 \text{ h}^{-1}$ が 37%、 $7 \sim 9 \text{ h}^{-1}$ が 14%、 $9 \sim 11 \text{ h}^{-1}$ が 18%、オゾン+粒状活性炭については、 $5 \sim 7 \text{ h}^{-1}$ が 33%、 $7 \sim 9 \text{ h}^{-1}$ が 22%、 $9 \sim 11 \text{ h}^{-1}$ が 15%であり、これらで全体の約 7 割を占めている。

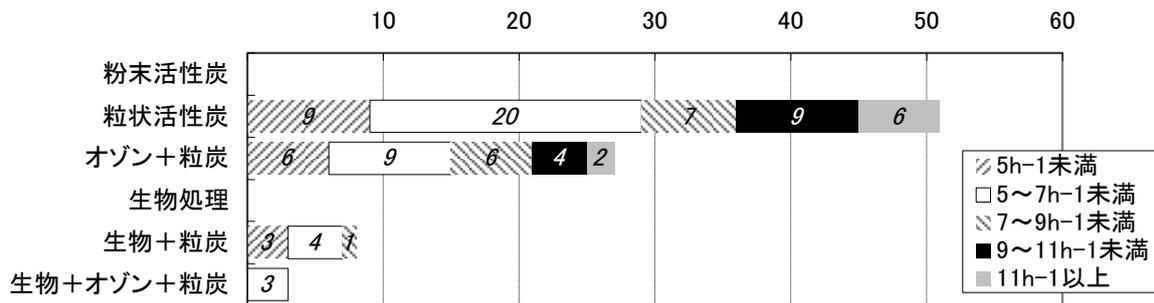


図-3-2-72 活性炭接触池の空間速度 SV（設計値）

⑧ 粒状活性炭接触池の線速度 LV（設計値）

図-3-2-73 は、粒状活性炭接触池の線速度 LV（設計値）について集計した結果である。線速度 LV は処理水量（ m^3/h ）を活性炭吸着池の総面積（ m^2 ）によって割った値であり、ろ過速度（ m/h 、 $\text{m}/\text{日}$ ）に相当する。アンケート結果によると、粒状活性炭処理方式では $5 \sim 10 \text{ m}/\text{h}$ が 24%、 $10 \sim 15 \text{ m}/\text{h}$ が 41%、オゾン+粒状活性炭では $5 \sim 10 \text{ m}/\text{h}$ が 15%、 $10 \sim 15 \text{ m}/\text{h}$ が 52%となっている。

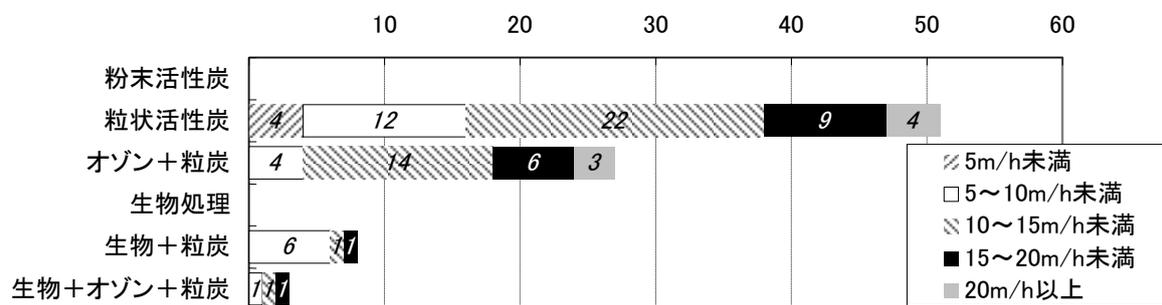


図-3-2-73 活性炭接触池の線速度 LV（設計値）

⑨ 粒状活性炭接触池の接触時間（設計値）

図-3-2-74 は、粒状活性炭接触池の接触時間（設計値）について集計した結果である。接触時間は粒状活性炭の充填量（ m^3 ）を処理水量（ m^3/h ）で割った値である。アンケート結果に

よると、粒状活性炭処理方式では6～12分が51.0%、12～18分が29.4%、オゾン処理+粒状活性炭処理方式では6～12分が55.6%、12～18分が33.3%となっている。

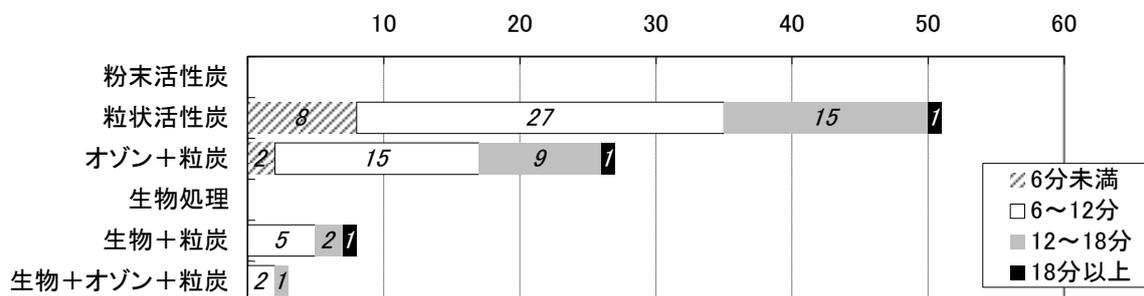


図-3-2-74 活性炭接触池の接触時間（設計値）

(3) 活性炭接触池の維持管理

① ろ過継続時間

図-3-2-75は、活性炭接触池のろ過継続時間について集計した結果である。活性炭接触池の前段で塩素処理を行わない場合、活性炭層内で微生物が繁殖し、これを餌として線虫やワムシ等の後生動物が増殖することがある。このため、ろ過継続時間を設定する際には、後生動物のライフサイクルを考慮することが必要である。経験的に72～96時間が目安とされているが、粒状活性炭処理の場合、全体の65%、オゾン処理+粒状活性炭処理の場合、53%の浄水場で96時間以内となっている。

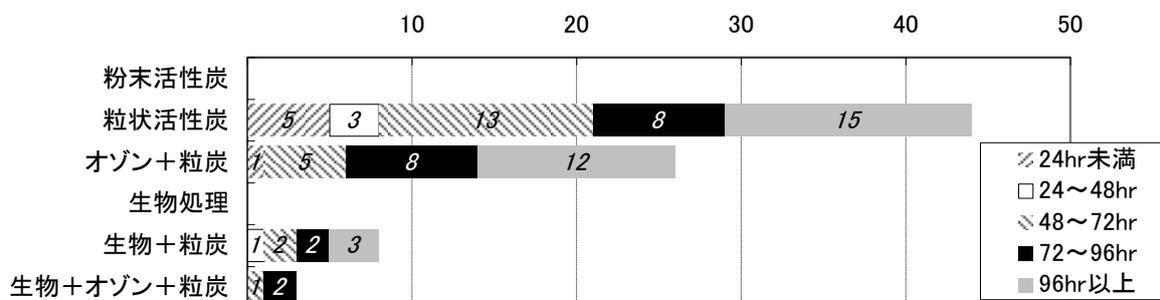


図-3-2-75 活性炭接触池のろ過継続時間

② 洗浄強度

活性炭接触池の洗浄強度について、表面洗浄を図-3-2-76、逆流洗浄を図-3-2-77、空気洗浄を図-3-2-78に示す。表面洗浄については約半数の浄水場で0.2 m³/m²/分、逆流洗浄については約半数の浄水場で0.8 m³/m²/分を確保している。また、空気洗浄については、7割程度で0.8 m³/m²/分以上となっている。

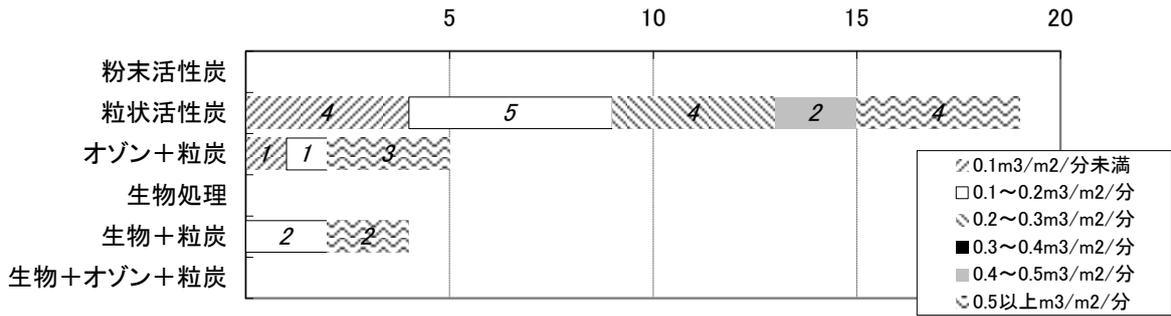


図-3-2-76 活性炭接触池の洗浄強度（表面洗浄）

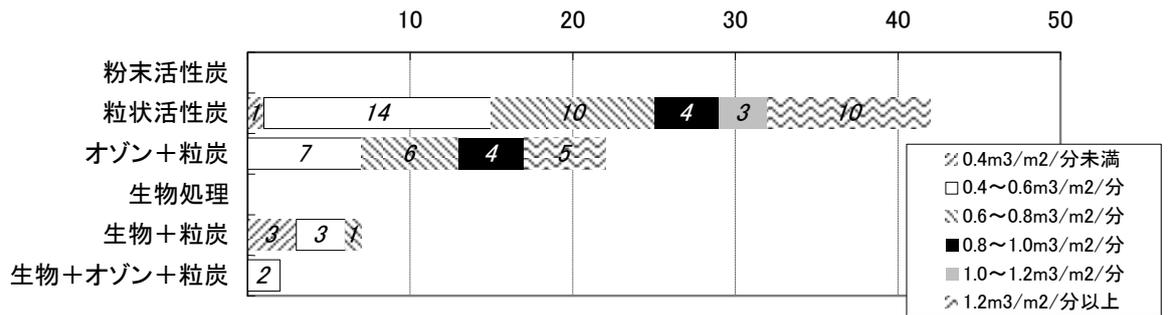


図-3-2-77 活性炭接触池の洗浄強度（逆流洗浄）

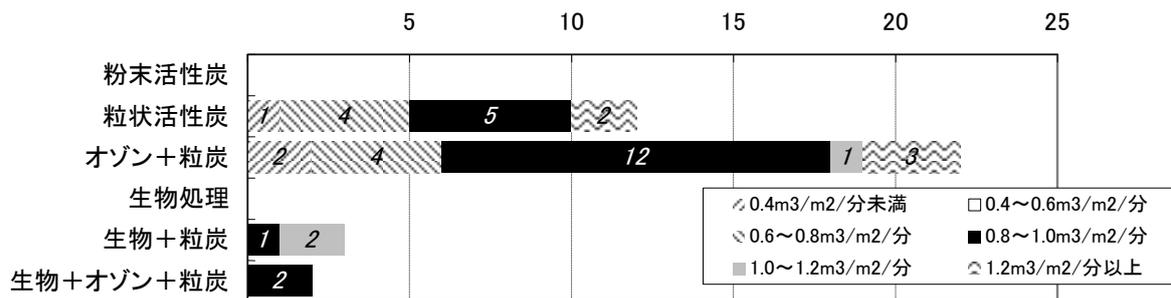


図-3-2-78 活性炭接触池の洗浄強度（空気洗浄）

③ 洗浄時間（表面洗浄）

活性炭接触池の洗浄時間について、表面洗浄を図-3-2-79、逆流洗浄を図-3-2-80、空気洗浄を図-3-2-81に示す。表面洗浄については7割弱が6分未満、逆流洗浄については約5割が12分以上、空気洗浄については7割以上が6分未満となっている。

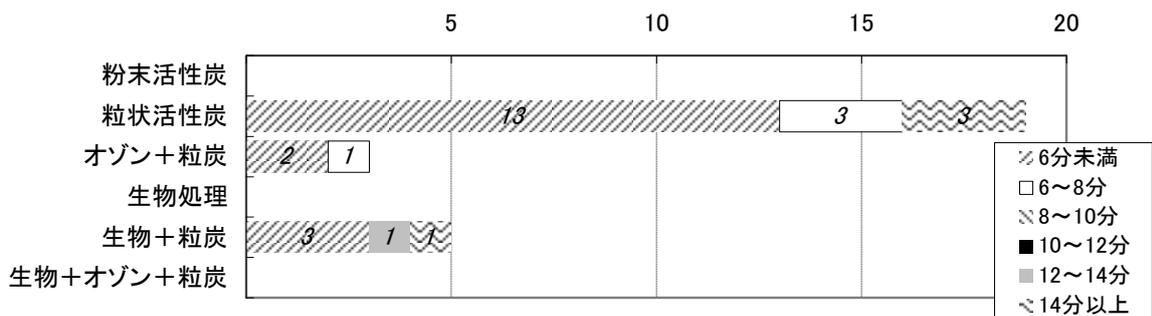


図-3-2-79 活性炭接触池の洗浄時間（表面洗浄）

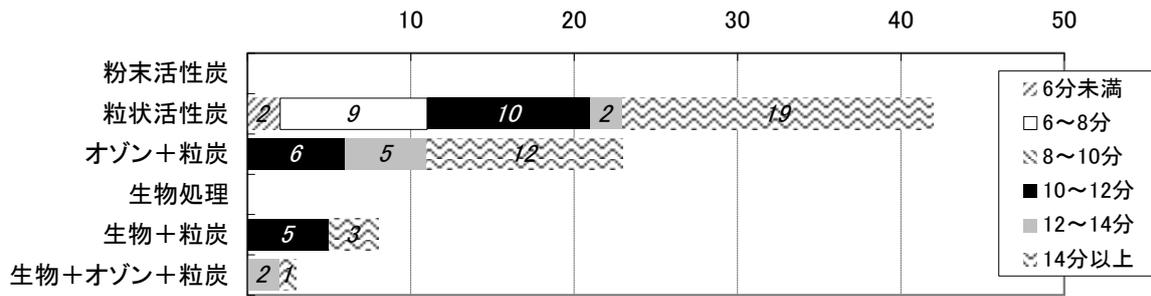


図-3-2-80 活性炭接触池の洗浄時間（逆流洗浄）

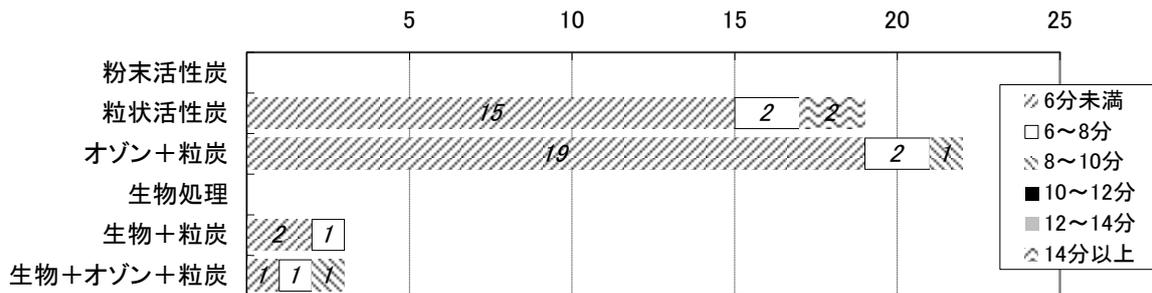


図-3-2-81 活性炭接触池の洗浄時間（空気洗浄）

④ 粒状活性炭交換の有無

図-3-2-82 は、粒状活性炭交換の有無について集計した結果である。半数以上では既に交換をしているが、通水開始からの年月が浅い浄水場では、まだ交換を行っていないところも見られる。

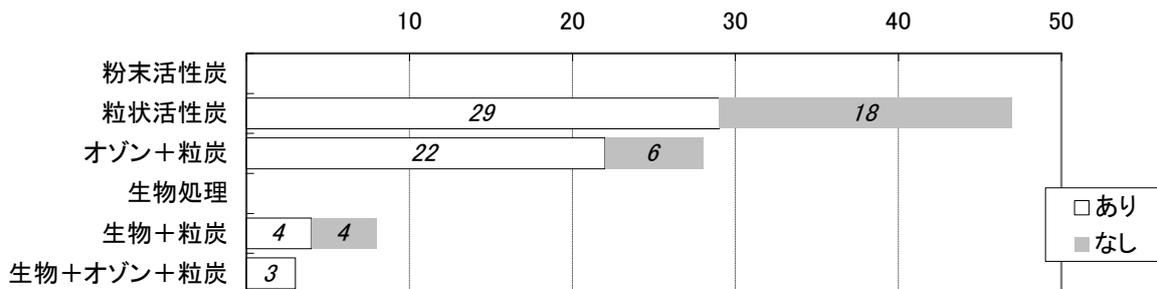


図-3-2-82 粒状活性炭交換の有無

⑤ 粒状活性炭交換（再生）頻度

図-3-2-83 は、粒状活性炭交換（再生）頻度について集計した結果である。粒状活性炭処理方式においては、半数強の浄水場で3年に1回、又はこれよりも短い間隔で交換（再生）を行っているが、オゾン処理+粒状活性炭処理においては、半数強の浄水場で5年に1回、又はこれよりも長い間隔となっている。一般に粒状活性炭の前段でオゾン処理を行うと、難分解性有機物を易分解性有機物に転換すると同時に、粒状活性炭層内における生物化学的作

用が促進される。また、吸着された有機物は生物化学的に分解され、自己再生機能によって粒状活性炭の吸着能が長く持続される。こうしたことから、オゾン処理を行っている浄水場において、活性炭の交換頻度が長くなっていると考えられる。

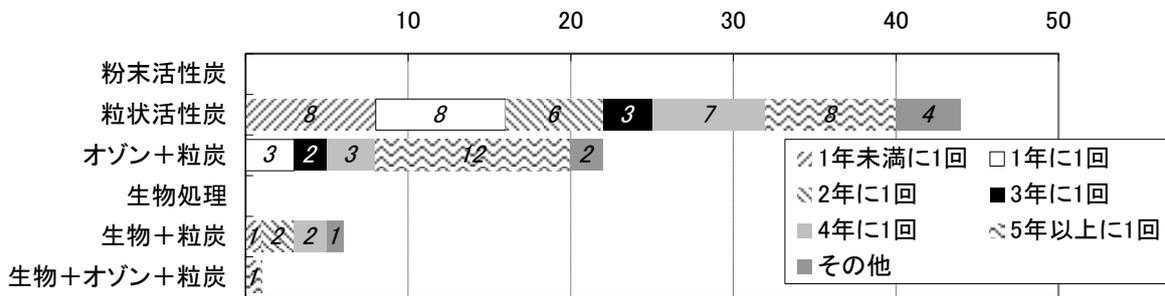


図-3-2-83 粒状活性炭交換（再生）頻度

⑥ 交換（再生）する粒状活性炭の種類

図-3-2-84 は、交換（再生）する粒状活性炭の種類について集計した結果である。最も多いのは新炭であるが、特に粒状活性炭処理方式においては、新炭と再生炭との混合や全量を再生炭とする浄水場も見られる。

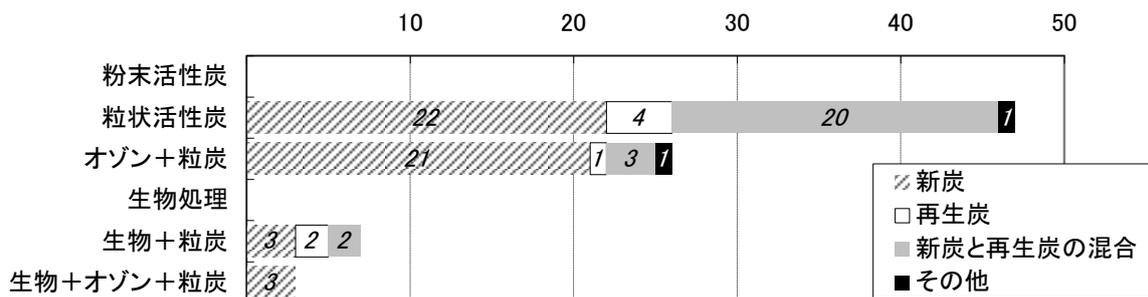


図-3-2-84 交換（再生）する粒状活性炭の種類

⑦ 粒状活性炭再生の場合の新炭補充量

図-3-2-85 は、再生の場合の新炭補充量について集計した結果である。補充量は1池当たりの面積と層厚に左右されるが、オゾン処理の有無によらず、約半数の浄水場において1池当たり 5 m³ 以上の粒状活性炭を補充している。

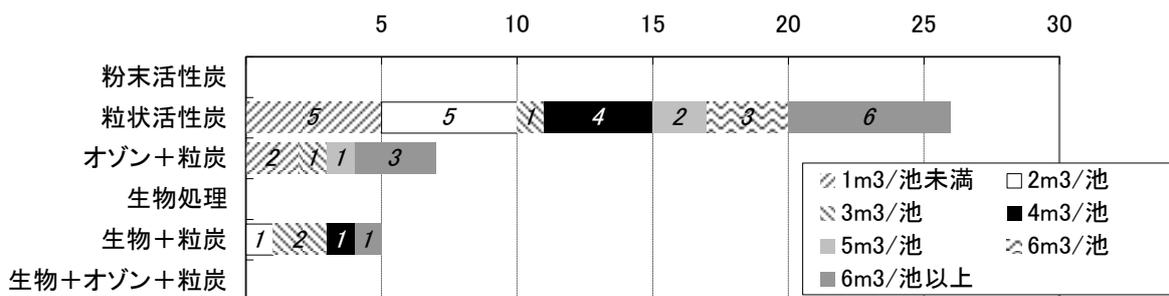


図-3-2-85 粒状活性炭再生の場合の新炭補充量

⑧ 粒状活性炭再生の有無

図-3-2-86 は、活性炭再生の有無について集計した結果である。粒状活性炭処理方式の場合は半数程度で再生を行っているが、オゾン処理を行っている浄水場では、再生を行う比率が低く、新炭を使用する比率が高くなっている。

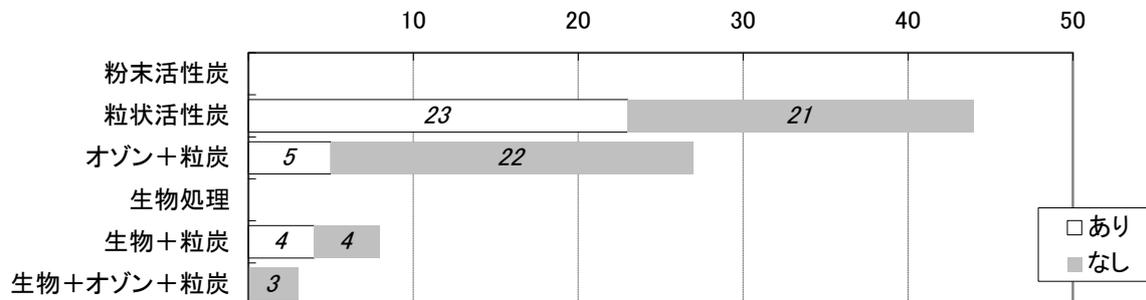


図-3-2-86 粒状活性炭再生の有無

⑨ 交換（再生）の判断基準

粒状活性炭の交換（再生）の判断基準のうち、一定の年数や処理水量以外では、処理水水质及び粒状活性炭の物性が挙げられた。

a) 処理水水质に応じた判断基準

- ・ 処理水の 2-MIB とジェオスミン濃度が 5 ng/L を超えた場合
- ・ 処理水のトリハロメタン生成能が 0.05 mg/L を超過または臭気が発生した場合
- ・ 配水の総トリハロメタン濃度
- ・ トリハロメタンの除去率、吸着能力が低下した場合
- ・ 紫外線吸光度除去率が 20%以下となった場合
- ・ 2-MIB 吸着量が 25g 以下となった場合

b) 粒状活性炭の物性に応じた判断基準

- ・ ヨウ素吸着量にある一定の値を定め、この値を下回った場合を交換の目安としている。
- ・ 粒状活性炭の物性試験結果

⑭ 維持管理上の留意事項

粒状活性炭処理における維持管理上の留意事項として挙げられたものを集約すると、以下に示すように処理水水质に関するものとメンテナンスに関するものに分類される。

a) 処理水水质に関する事項

- ・ 給水栓水の残留塩素濃度 (0.1 mg/L 以上) の維持
- ・ 洗浄によって流出する粒状活性炭の目減りの程度
- ・ 粒状活性炭の吸着性能が残留塩素保持に影響する。

- ・活性炭処理水の濁度管理
- ・夏期から冬期にかけて原水中の植物プランクトンの発生により、2-MIB 及びジェオスミン濃度が増加する。その対策として、2-MIB 濃度及びジェオスミン濃度の検査頻度を増やし、状況に応じて粒状活性炭の再生を行っている。かび臭の高濃度時は短期間で破過し、1ヶ月に2池分を再生することもある。
- ・活性炭処理水の動物プランクトン数（線虫、輪虫、貧毛類）に注意している。

b) メンテナンスに関する事項

- ・洗浄時間の見極め
- ・粒状活性炭の再生時期を夏季に入る前とする。
- ・処理水量によって使用池数を決定し、粒状活性炭の状況に応じて使用する池を決定している。
- ・かび臭等の臭気が発生する夏期のみ活性炭吸着池に通水している。通水時期が近くなると、活性炭吸着池の機能を維持するため、1日に2時間程度の通水（維持運転）を行っている。
- ・粒状活性炭の吸着能力を判断するため、紫外線吸光度除去率の低下に注意している。
- ・活性炭処理水の溶存酸素濃度（3.0 mg/L 以上）に注意している。
- ・夏季の水温上昇時において、溶存酸素の低下に注意している。
- ・洗浄時における活性炭の流出に注意している。
- ・粒状活性炭の使用を停止する期間（11月から5月）であっても、定期的に洗浄作業を行っている。
- ・逆洗水使用量・電力使用量節減の観点から、ろ過水質に影響の出ない範囲で逆洗頻度・逆洗時間・逆洗強度を調整している。
- ・微粉炭の流出に注意している。
- ・洗浄水位検知用電極にスカム状の物質が付着するため、清掃及び損失水頭のチェックを行っている。
- ・処理水質及びろ過損失水頭に注意している。
- ・捨水時間に注意している。
- ・逆洗の際に活性炭の流出がないかを目視で確認している。
- ・水温変化に応じて、洗浄流速及び洗浄流量を設定している。
- ・粒状活性炭の入れ替え時に行う洗浄の際、活性炭の流出に注意している。
- ・洗浄後の破碎された微粒子が浄水に流出しないよう、捨水及び濁度管理を行っている。
- ・活性炭の交換以外では、長期間休止をしないよう注意している。
- ・展開状態、SSの除去、下部整流部の管理（圧力損失等の確認）、槽内短絡流に注意している。

4) オゾン処理設備に関する事項

(1) オゾン発生装置の諸元

① オゾン発生方式

図-3-2-87は、オゾン発生方式について集計した結果である。オゾン発生方式には光学的方法、電解法、放電法等の方法があるが、工業的に最適な方法は無声放電法とされており、大部分の浄水場ではこの無声放電方式が採用されている。

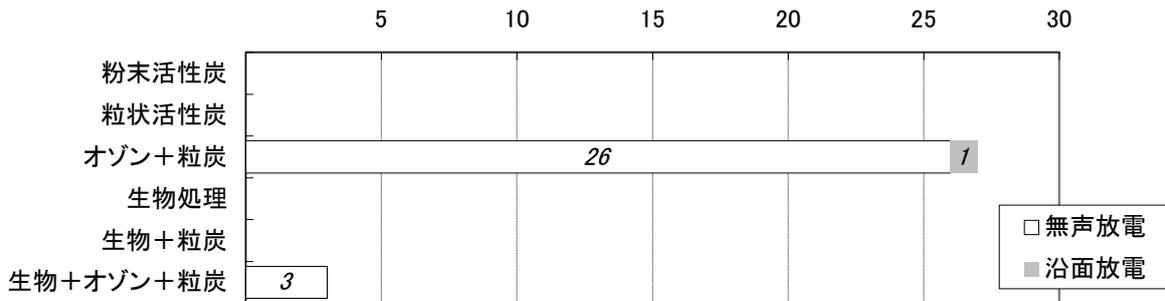


図-3-2-87 オゾン発生方式

② オゾン発生容量

図-3-2-88は、オゾン発生容量について集計した結果である。オゾン発生容量はオゾン発生機1台当たり、1時間当たりの発生オゾン量であり、処理水量や最大オゾン注入率等を考慮して決定する。全体の約3/4の浄水場では10 kg-O₃/時・台となっている。

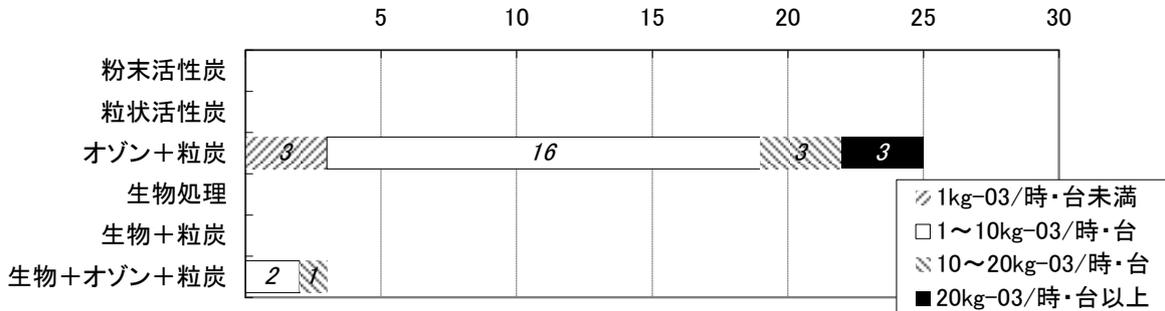


図-3-2-88 オゾン発生容量

③ 発生オゾン濃度

図-3-2-89は、発生オゾン濃度について集計した結果であり、大部分が20~30 g/Nm³となっている。

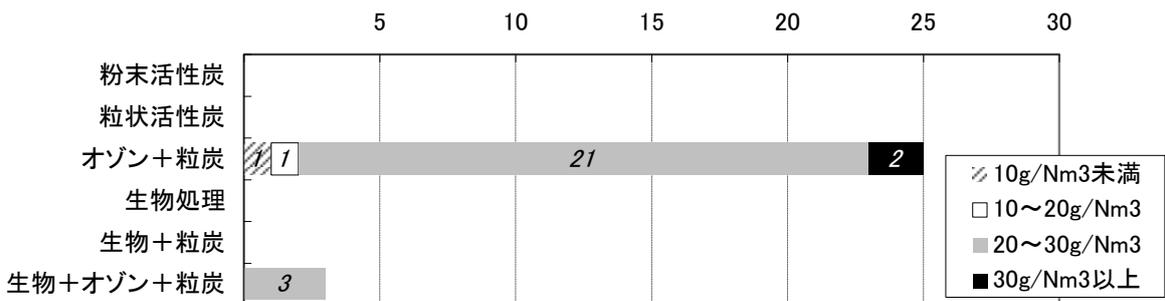


図-3-2-89 発生オゾン濃度

④ オゾン原料

図-3-2-90は、オゾン原料について集計した結果である。オゾン原料としては空気源と酸素源がある。空気源は大気を空気圧縮機で加圧・乾燥させ、オゾン発生機に乾燥空気を供給する方式である。原料ガス装置は単純であるが、オゾン発生装置が大きくなる等の特徴を有する。アンケート結果によると、大部分の浄水場ではこの空気源を採用している。一方、酸素源は購入した純酸素をオゾン発生機に供給する方式である。液体酸素の供給体制に制約を受けること、消費量等に見合った液体酸素貯留槽を必要とすること、可燃性ガスであるため取り扱いが難しいこと等の特徴があり、現在のところ導入実績は限られている。

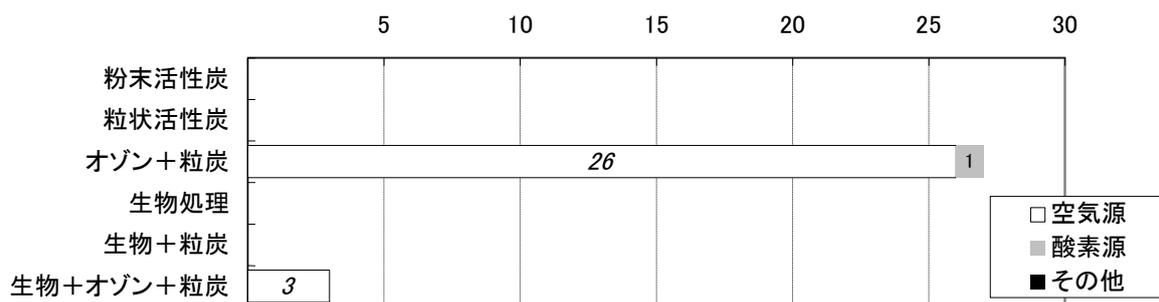


図-3-2-90 オゾン原料

⑤ オゾン発生器台数

図-3-2-91は、オゾン発生器台数について集計した結果である。台数は処理水量や最大オゾン注入率に左右されるが、全体の約7割の浄水場では3台以下となっている。

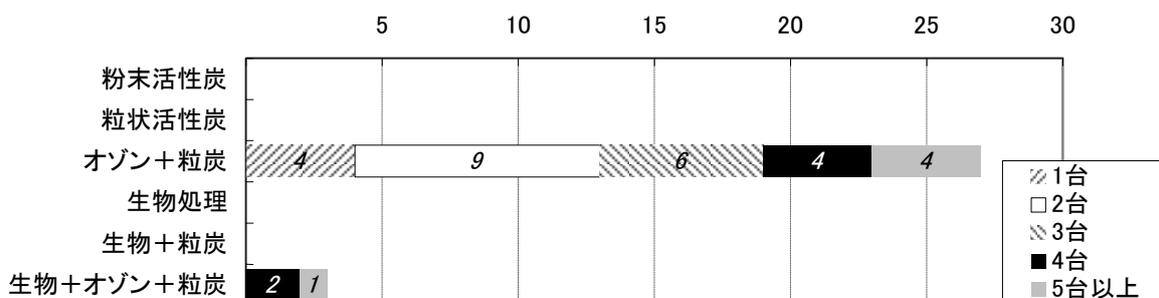


図-3-2-91 オゾン発生器台数

(2) 施設諸元

① オゾン接触方式

図-3-2-92は、オゾン接触方式について集計した結果である。主なオゾン接触方式としては散気管方式と下向管方式がある。散気管方式はオゾン化ガスを散気管によって水中に吹き込み、気泡群と水との間でオゾン吸収や反応を行わせる方式であり、大部分の浄水場ではこの方式が採用されている。一方、下向管方式は水深20~35mの垂直円筒形の閉管内に内管を配した二重管によって構成され、オゾンの水への溶解効率が高い方式である。この方式は比

較的近年になって採用された。

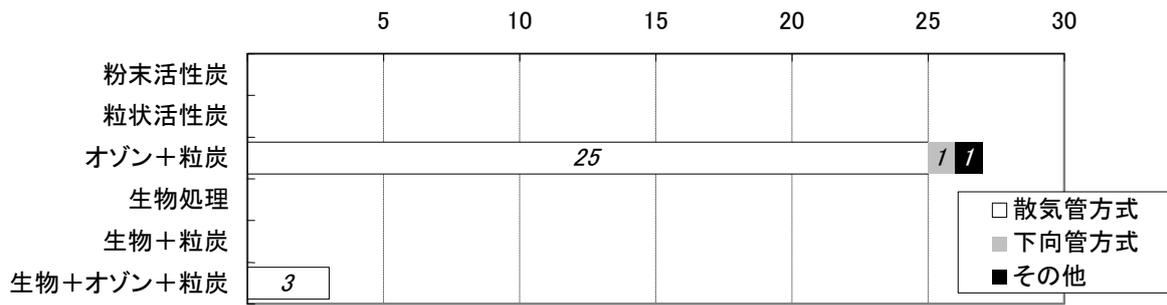


図-3-2-92 オゾン接触方式

② 池数

オゾン接触池の池数を図-3-2-93、オゾン反応・滞留池の池数を図-3-2-94 に示す。接触池及び反応・滞留池とも、半数程度の浄水場では2池となっている。

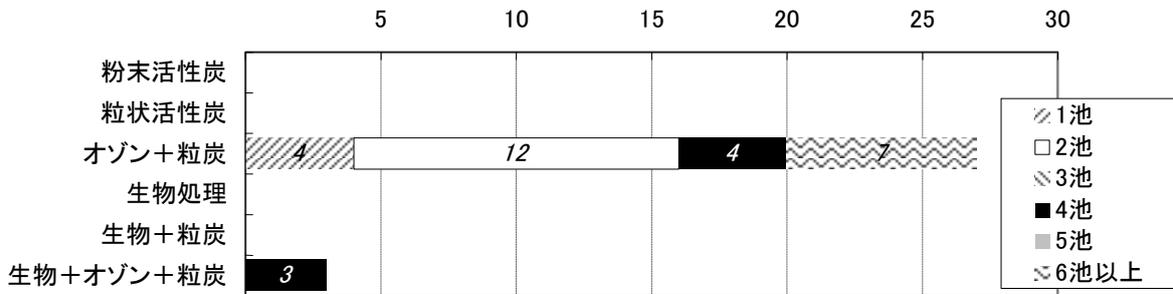


図-3-2-93 オゾン接触池の池数

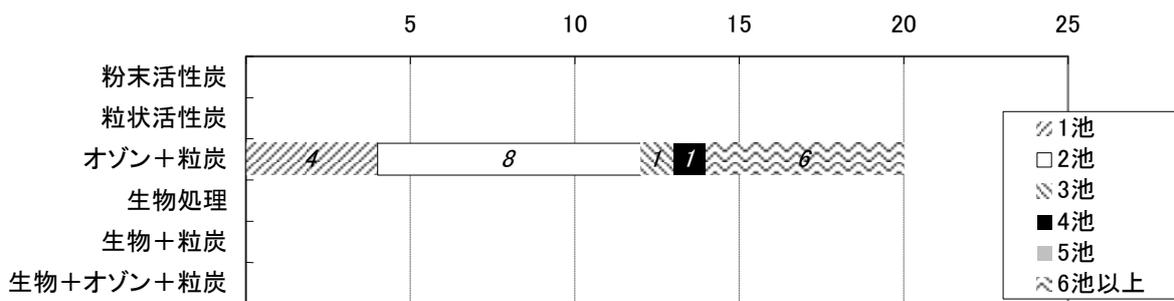


図-3-2-94 オゾン反応・滞留池の池数

③ 散気管方式の場合の接触段数

図-3-2-95 は、散気管方式の場合の接触段数について集計した結果であり、2 段又は 3 段を採用する事例が大部分を占めている。

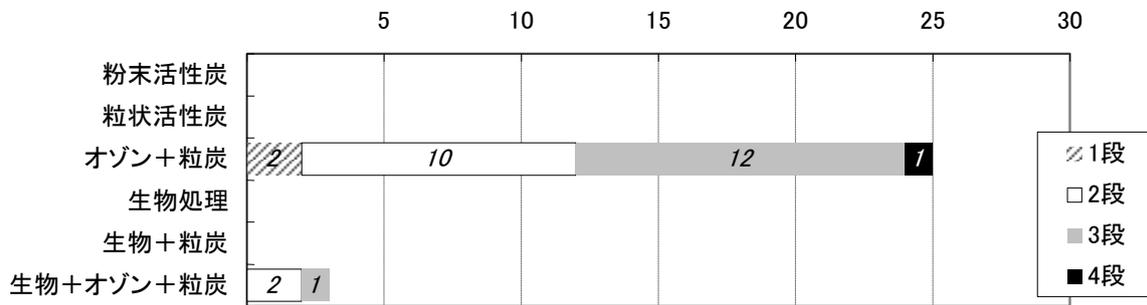


図-3-2-95 散気管方式の場合の接触段数

④ 散気管方式の場合の接触時間（設計値）

図-3-2-96 は、オゾン接触時間について集計した結果である。10～15 分が最も多く全体の半数強を占め、次いで 5～10 分が全体の 3 割程度となっている。

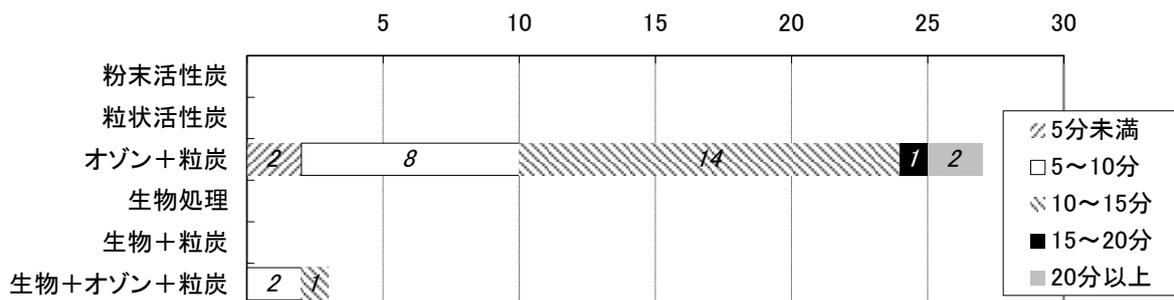


図-3-2-96 散気管方式の場合の接触時間（設計値）

⑤ 反応・滞留時間（設計値）

図-3-2-97 は、オゾン反応・滞留時間について集計した結果である。5～10 分及び 10～15 分で全体の 8 割を占めている。

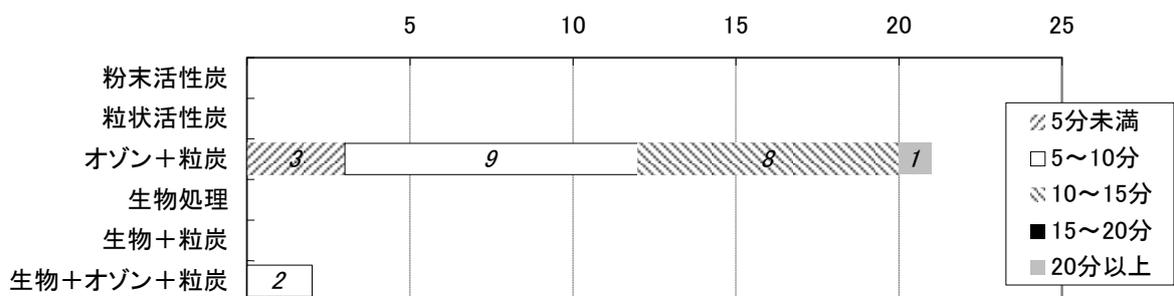


図-3-2-97 反応・滞留時間（設計値）

⑥ 排オゾン処理方式

図-3-2-98 は、排オゾン処理方式について集計した結果である。触媒分解法が最も多く、次いで活性炭吸着分解法が採用されている。

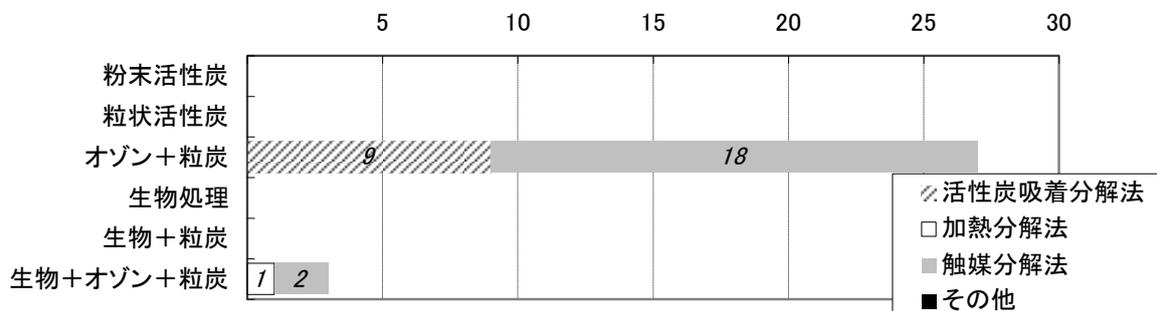


図-3-2-98 排オゾン処理方式

(3) オゾン施設の維持管理

① 通常のおゾン制御方式

図-3-2-99 は、通常のおゾン制御方式について集計した結果である。注入率制御と溶存（残留）オゾン制御がほぼ同数となっているが、両者の組合せを行っている事例も見られる。

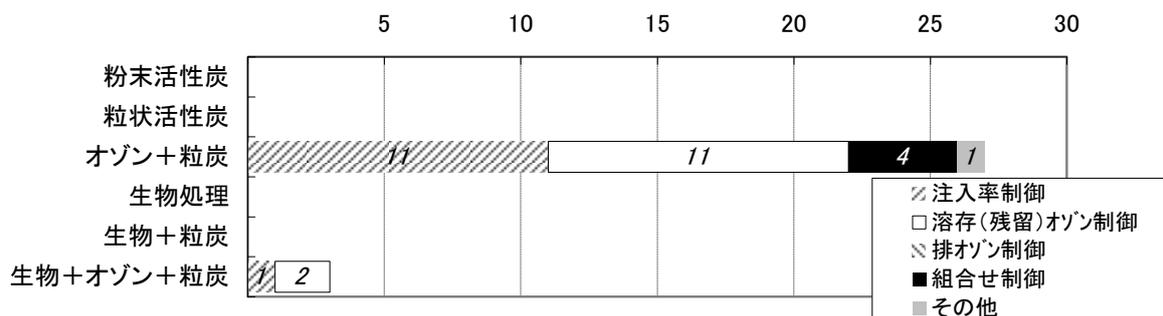


図-3-2-99 通常のおゾン制御方式

② 維持管理上の留意事項

オゾン処理における維持管理上の留意事項として以下のものが挙げられた。

- ・ 予防保全のための点検及び整備の充実
- ・ 溶存オゾンの管理と漏洩管理
- ・ 夏期から冬期にかけて原水中の植物プランクトンの発生により、2-MIB 及びジェオスミン濃度が増加する状況にある。その対策として、2-MIB 濃度及びジェオスミン濃度の検査頻度を増やし状況に応じ発生量を変更している。
- ・ 散気（注入）状況に注意している。
- ・ 吸収効率として90%を維持する。
- ・ 溶存オゾン濃度と池内散気状態に注意している。
- ・ 夏場に溶存オゾン値目標 0.1mg/L に達しない場合があるが、臭素酸が 5 μg/L 以下とな

るように制御している。

- ・ 臭素酸対策として溶存オゾン管理を行っている。
- ・ 機器の経年劣化に注意している。
- ・ 空冷チラー等の故障により停止したことがあったため、定期的に点検している。

5) 生物処理設備に関する事項

(1) 浸漬ろ床・回転円板方式

① 生物処理の方式

図-3-2-100 は、生物処理の方式について集計した結果である。浸漬ろ床、回転円板、生物接触ろ過の各々の方式が採用されている。

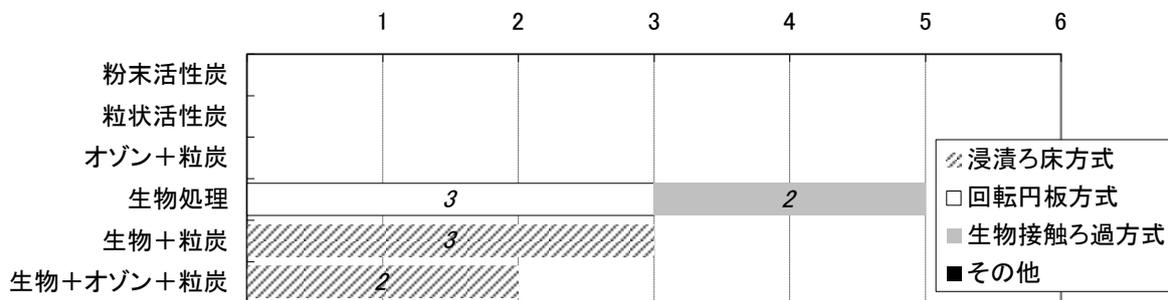


図-3-2-100 生物処理の方式（浸漬ろ床・回転円板方式）

② 接触時間

図-3-2-101 は、生物処理の接触時間について集計した結果であり、10 箇所のうち 8 箇所では 60 分以内となっている。

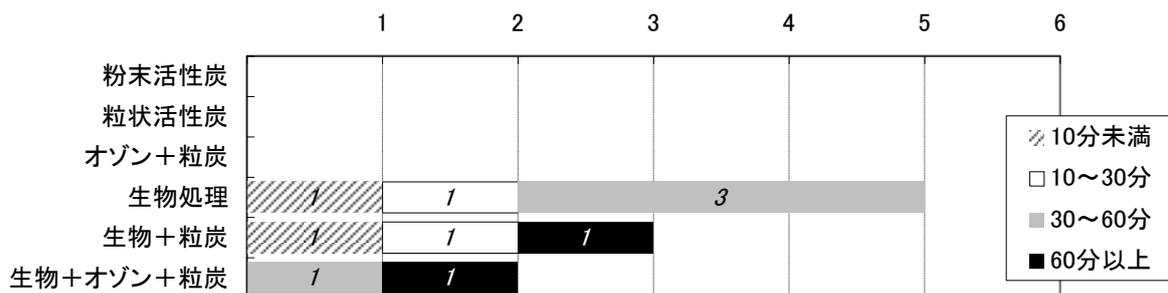


図-3-2-101 生物処理施設の接触時間

③ 処理水槽深さ

図-3-2-102 は、生物処理の処理水槽深さについて集計した結果であり、9 箇所のうち 7 箇所では 3m 以上となっている。

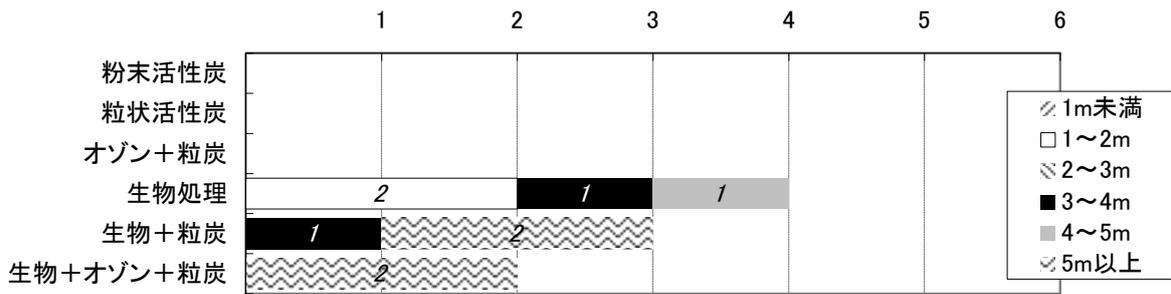


図-3-2-102 生物処理施設の処理水槽深さ

④ 曝気設備の有無

図-3-2-103 は、曝気設備の有無について集計した結果である。浸漬ろ床・回転円板について、曝気設備を設けている浄水場の方が多いが、曝気設備無しのところも見られる。

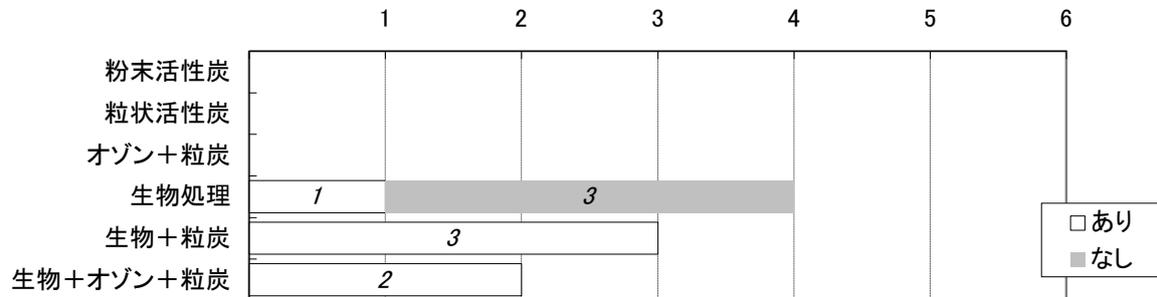


図-3-2-103 曝気設備の有無（浸漬ろ床・回転円板）

⑤ 洗浄設備の有無

図-3-2-104 は、浸漬ろ床・回転円板における洗浄設備の有無について集計した結果である。浸漬ろ床・回転円板について、洗浄設備を設けている浄水場の方が多いが、洗浄設備無しのところも見られる。

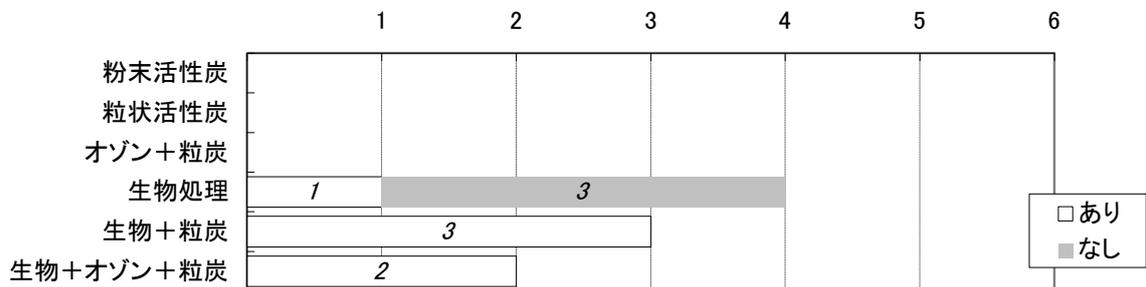


図-3-2-104 洗浄設備の有無（浸漬ろ床・回転円板）

⑥ 排泥設備の有無

図-3-2-105 は、浸漬ろ床・回転円板における排泥設備の有無について集計した結果である。浸漬ろ床・回転円板について、排泥設備を設けている浄水場の方が多いが、排泥設備無しのところも見られる。

ところも見られる。

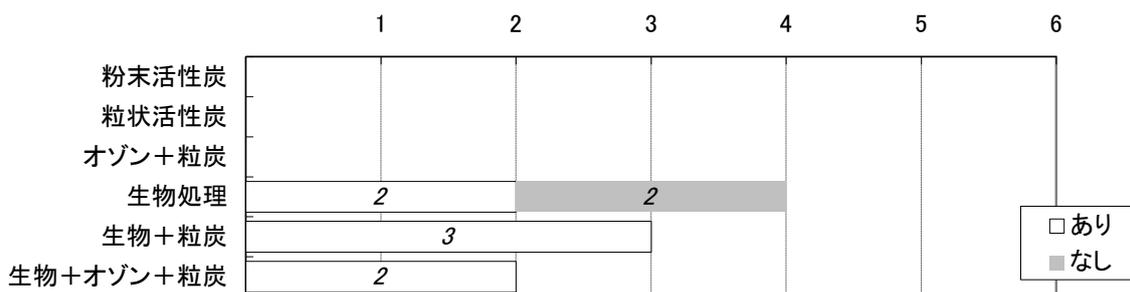


図-3-2-105 排泥設備の有無（浸漬ろ床・回転円板）

(2) 生物接触ろ過方式

① 生物処理の方式

図-3-2-106 は、生物接触ろ過方式における処理方式について集計した結果であり、生物接触ろ過方式が採用される比率が高くなっている。

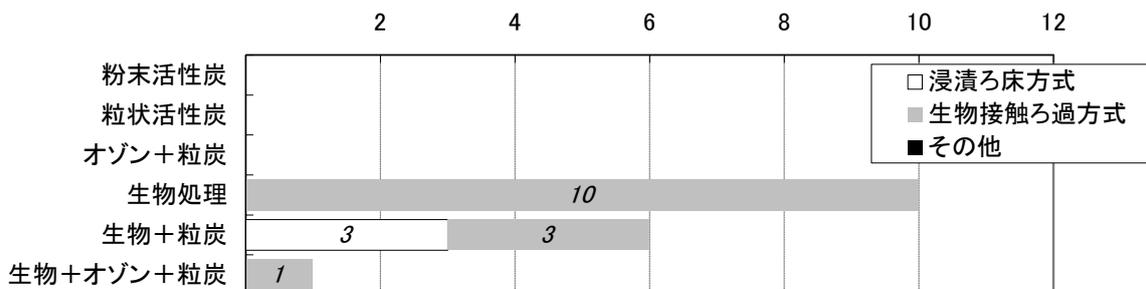


図-3-2-106 生物処理の方式（生物接触ろ過）

② 担体の種類・平均粒径・通水方式

表-3-2-1 は、担体の種類・平均粒径・通水方式について、回答を抽出した結果である。

表-3-2-1 担体の種類・平均粒径・通水方式

担体の種類	平均粒径 (mm)	通水方式
粒状活性炭	0.4~0.5	上向流式
粒状活性炭	0.4	上向式
ろ過砂	0.6	外圧式
アンスラサイト	1.5	重力式ろ過
アンスラサイト及び水道基準ろ砂の多層	アンスラサイト 1.5~1.6 ろ砂 0.5~0.6	下向流
砂利	3~5	下向流
多孔質セラミック	5	下向流
ポリエステル繊維球状集合体	5~7	重力式下向流
ポリエステル繊維製	5~7	自然平行重力式下降流
シェルビーズ (かき殻)	-	上向流

③ 1池当たりの池面積

図-3-2-107は、1池当たりの池面積について集計した結果であり、全体の3/4は40 m²/池以内で設計されている。

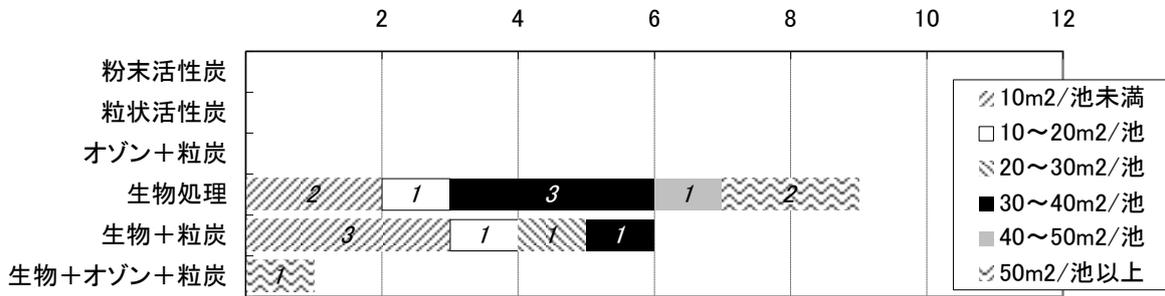


図-3-2-107 生物処理 1池当たりの池面積

④ 池数

図-3-2-108は、生物処理の池数と施設能力の関係について示したものである。データ数が少ないが、施設能力に応じて池数が増える傾向が見られる。

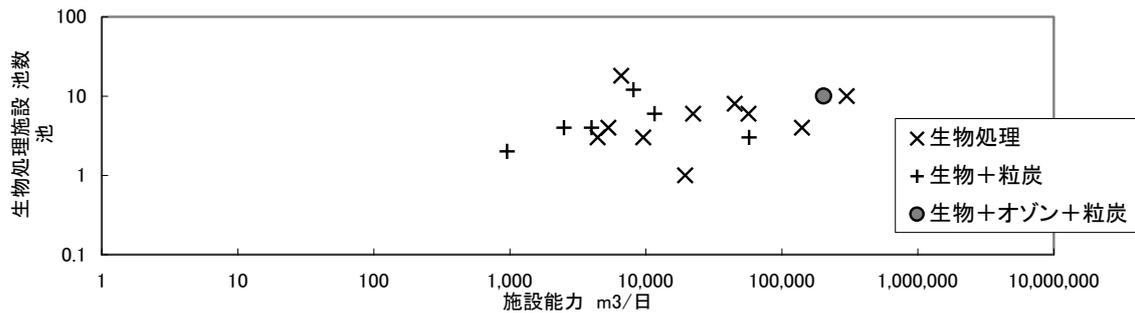


図-3-2-108 生物処理施設の池数

⑤ 総ろ過面積

図-3-2-109は、生物処理の総ろ過面積と施設能力の関係について示したものであり、施設能力に応じて総ろ過面積が大きくなる傾向が見られる。

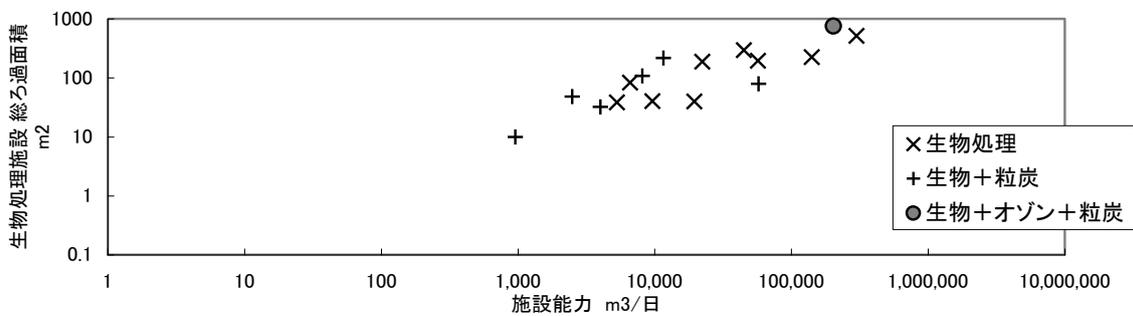


図-3-2-109 生物処理施設の総ろ過面積

⑥ 層厚

図-3-2-110 は、生物処理の層厚について集計した結果であり、1m 以上が大部分を占めている。

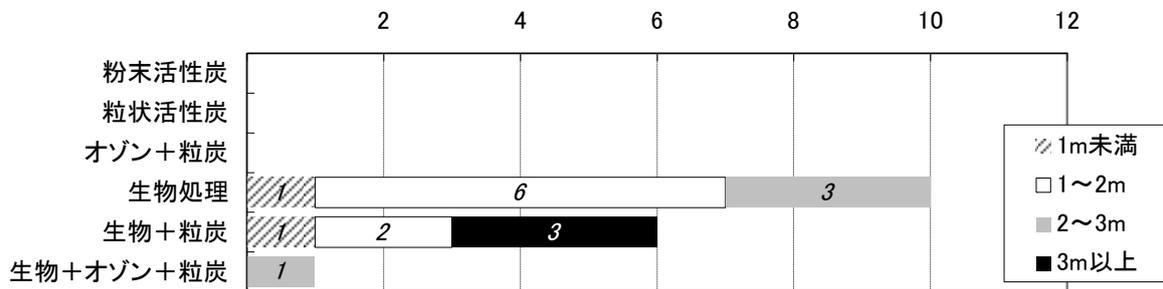


図-3-2-110 生物処理施設の層厚

⑦ 空間速度 (SV) (設計値)

図-3-2-111 は、生物処理の空間速度 SV (設計値) について集計した結果であり、約半数の浄水場では 5 h^{-1} 未満となっている。

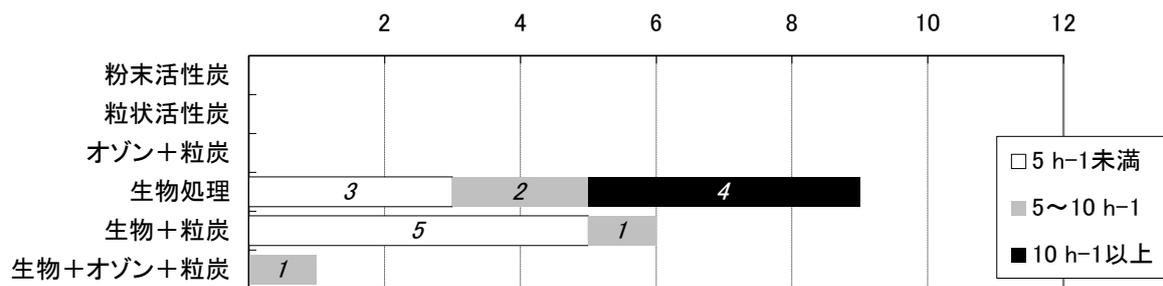


図-3-2-111 生物処理施設の空間速度 (SV) (設計値)

⑧ 線速度 (LV) (設計値)

図-3-2-112 は、生物処理の線速度 LV (設計値) について集計した結果であり、半数強の浄水場では 10 m/hr 以下となっている。

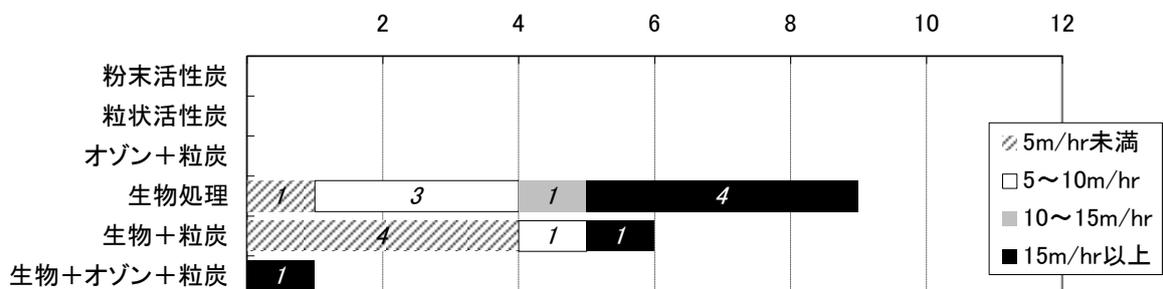


図-3-2-112 生物処理施設の線速度 (LV) (設計値)

⑨ 接触時間（設計値）

図-3-2-113 は、生物処理の接触時間（設計値）について集計した結果であり、半数強の浄水場では12分以上を確保している。

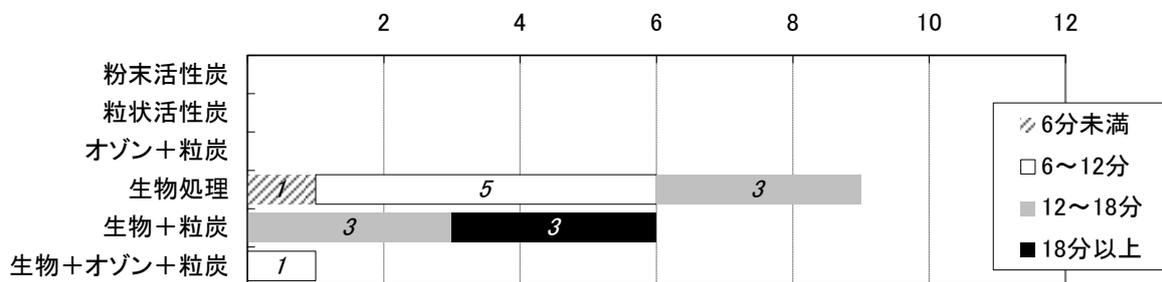


図-3-2-113 生物処理施設の接触時間（設計値）

⑩ 曝気設備の有無

図-3-2-114 は、曝気設備の有無について集計した結果である。生物接触ろ過について、曝気設備を設けている浄水場の方が多いが、曝気設備無しのところも見られる。

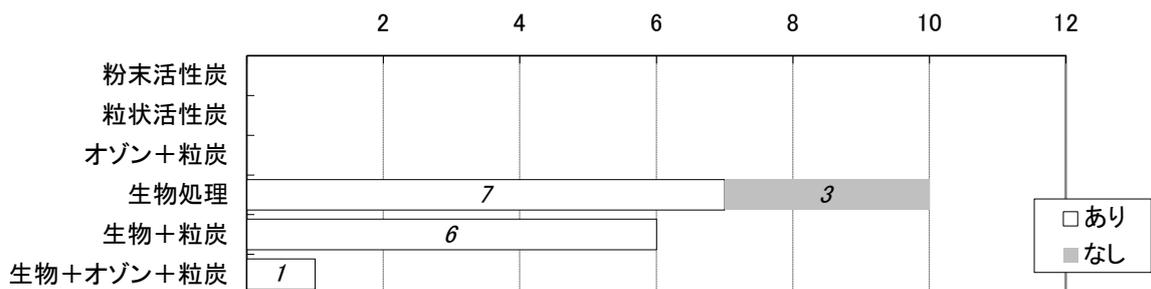


図-3-2-114 曝気設備の有無

⑪ 洗浄設備の有無

図-3-2-115 は、洗浄設備の有無について集計した結果である。生物接触ろ過について、全ての浄水場で洗浄設備を設置している。

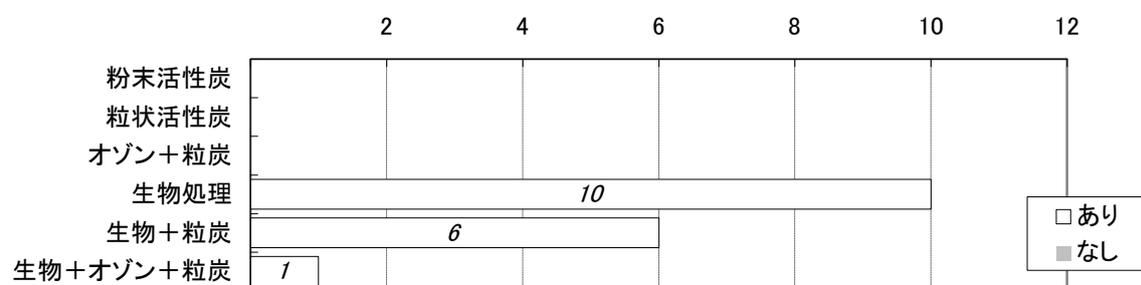


図-3-2-115 洗浄設備の有無

⑫ 維持管理上の留意事項

生物処理における維持管理上の留意事項として以下のものが挙げられた。

- ・ 損失水頭の変化に注意している。
- ・ 生物処理水の濁度に注意している。
- ・ 処理水質及びろ過損失水頭に注意している。
- ・ 洗浄周期に注意している。
- ・ 1池あたりのろ過流量が一定量（750～850 m³/h（13.3～15.1 m/h））となるように、原水量に応じて通水池数を調整している。特に活性炭流出防止のため、上限はリミッター制御している。
- ・ 溶存酸素、生物活性炭界面、損失水頭に注意している。

3-3 累積頻度分布を用いた特徴分析

1) 概要

高度浄水処理方式に応じて、対象となる浄水水質ごとにどの程度にまで低減できるかを、我が国に導入されている浄水場全体数に対して、その浄水水質を達成することのできた浄水場数の累積比率（達成率）で表すことを目的とする。累積頻度を用いた検討は、*e-Water II*の浄水システム委員会で適用した方法である。

累積頻度には、原水水質と浄水水質の全データの組合せを用いる方法と、浄水場ごとに原水水質の年間最大値を検出したときの浄水水質のデータの組合せを用いる方法とが考えられる。全データの組合せを用いる方法は、浄水場によってデータ数が異なり、データ数の多い浄水場の影響が大きくなる。また、全データの組合せを用いるときには、同一浄水場の同一測定日の原水水質と浄水水質をセットで使うのではなく、少ないものから順番に機械的に累積をしているため原水水質と浄水水質の相関が無視されている。一方、原水水質の年間最高値に対応する浄水水質を用いる場合には、原水水質と浄水水質の相関を含んでいることとなる。更に、全データを用いる場合と、原水水質の年間最高値に対応する浄水水質を用いる場合とでは、**図-3-3-1**に示すように原水水質の年間最高値に対応する浄水水質を用いる場合の方が、安全側に分布することから、実際に水道事業者が使う際に安全率を含んだ情報として提供できると考えられる。

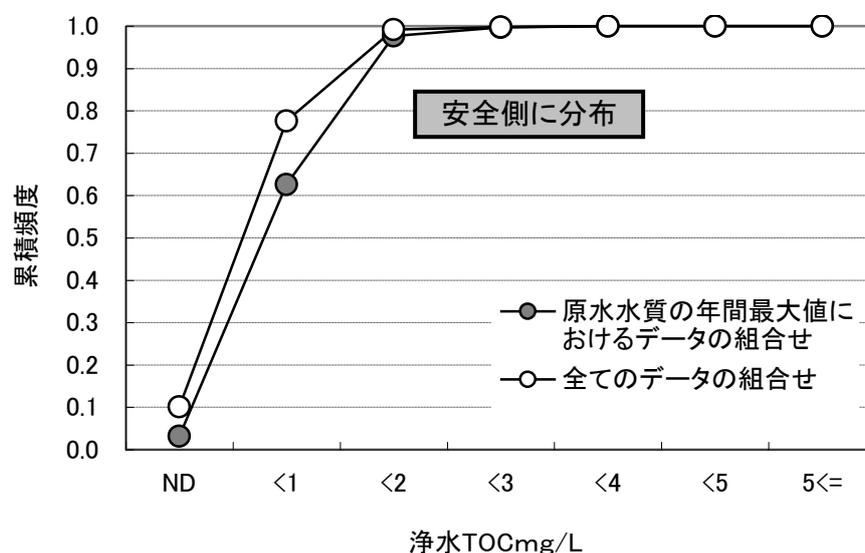


図-3-3-1 データの組合せに応じた累積頻度分布（粉末活性炭）

以上の理由から、本検討では、原水水質の年間最高値に対応する浄水水質を用いる方法を用いた累積頻度により、高度浄水処理方式ごとの特徴分析を行う。例えば、**図-3-3-2**は、浄水TOCに応じた浄水場の累積頻度分布の結果であり、高度浄水処理方式ごとに目標とする浄水水質を達成できている浄水場の達成率を確認することができる。

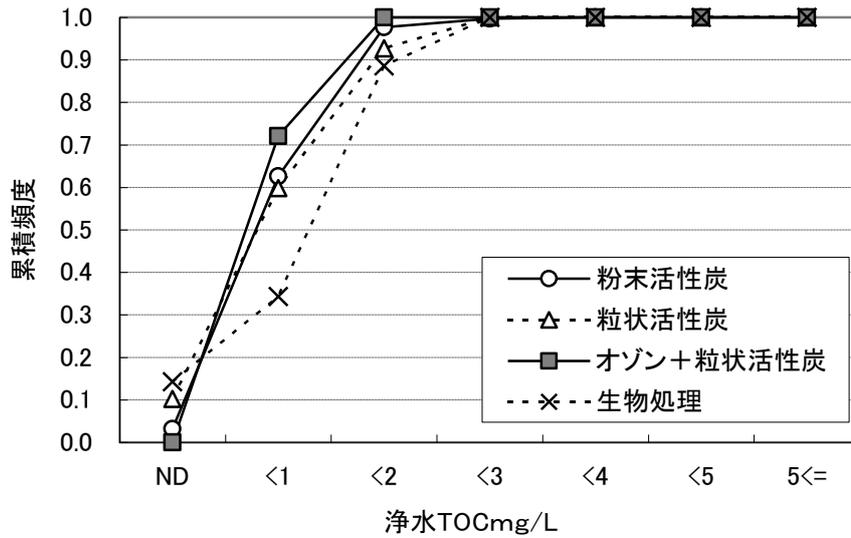


図-3-3-2 処理プロセスに応じた浄水水質の累積頻度分布（浄水 TOC）

次頁以降に、高度浄水処理の対象となる水質ごとに、各高度浄水処理方式に対して、浄水水質に応じて、その浄水水質を達成することのできた浄水場数の累積比率（達成率）を示す。また、解析に用いた原水水質の年間最大値の範囲とともに、高度浄水処理方式ごとに運転条件の範囲を示す。更に、原水水質と浄水水質の相関を確認するために散布図も併せて示すこととする。

2) 累積頻度分布の結果

(1) TOC

- ・ 累積頻度分布では、生物処理方式に関しては浄水濃度の低い範囲では達成率が高いものの、濃度が1mg/L以上で他の浄水処理方式と比べると達成率が低くなっている。
- ・ 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間で達成率に大きな違いは見られない。
- ・ 散布図からは、生物処理方式の大部分のデータは0~50%の除去性の範囲に分布しているが、それ以外の処理方式については0~90%の範囲への分布となっている。

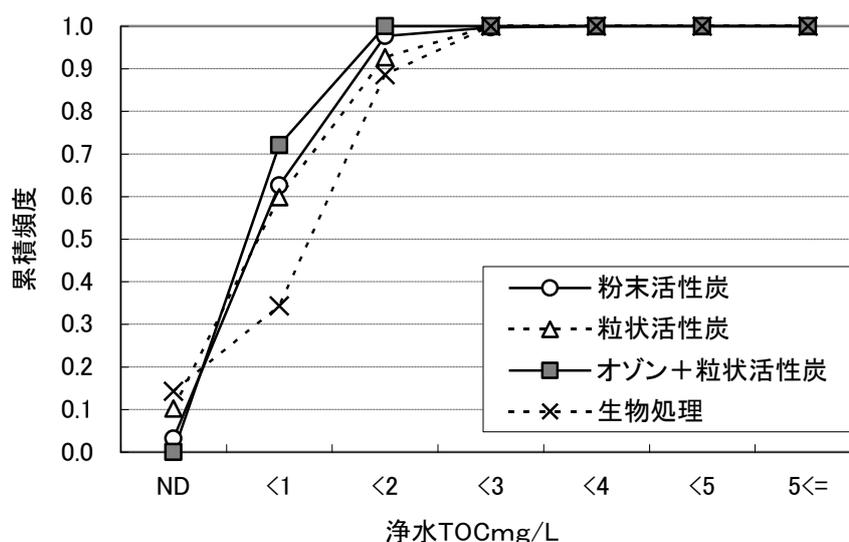


図-3-3-3 処理プロセス別にみた浄水水質の累積頻度分布（浄水 TOC）

表-3-3-1 浄水水質別にみた浄水場数の累積比率及び達成率（TOC）

浄水処理方式	原水 mg/L	浄水													
		ND		<1mg/L		<2mg/L		<3mg/L		<4mg/L		<5mg/L		5mg/L≤	
		達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数
粉末活性炭処理	0~22.5	3%	11	63%	205	89%	121	100%	7	100%	1	100%	0	100%	0
粒状活性炭処理	0.7~23	10%	14	60%	68	93%	45	100%	10	100%	0	100%	0	100%	0
オゾン処理+粒状活性炭処理	0.7~10	0%	0	72%	67	100%	26	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0
生物処理	0~6.1	14%	5	34%	7	89%	19	100%	4	100%	0	100%	0	100%	0

（ここで示した達成率は、表に示した原水水質の範囲内において適用される）

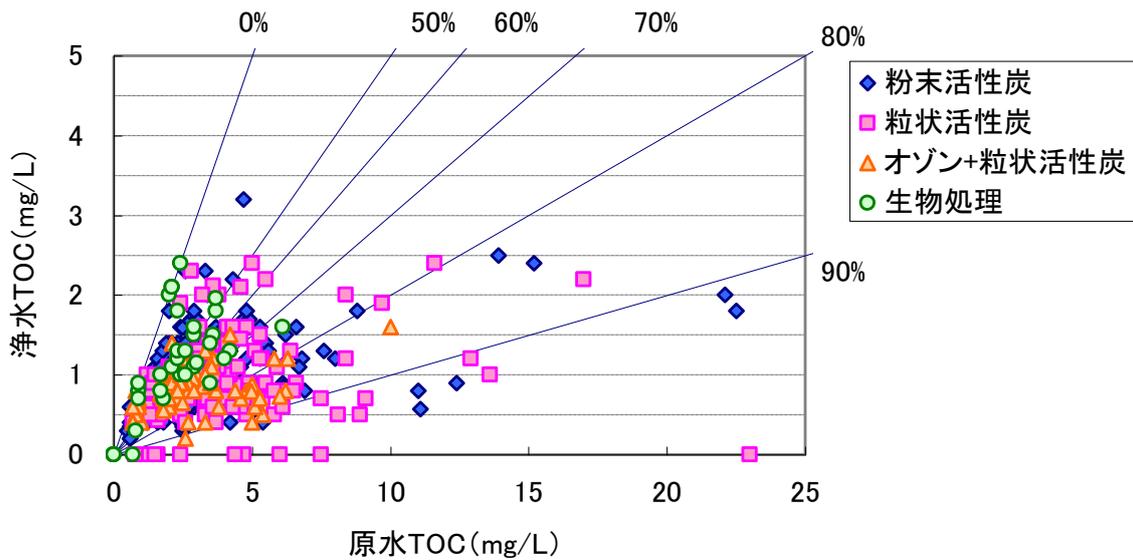


図-3-3-4 原水と浄水の散布図 (TOC)

表-3-3-2 運転条件範囲

		最大	平均	中央値	最小	
粉末活性炭	実接触時間	1440.0	115.0	73.0	3.2	
	注入率	45.0	7.6	5.9	0.1	
	凝集剤(AL換算)	16.7	2.4	1.9	0.0	
粒状活性炭	通水日数	1139.0	219.2	71.0	2.0	
	実SV	4623.0	177.5	5.6	1.2	
	実LV	341.0	144.1	168.0	1.2	
	実接触時間	50.0	15.0	14.0	0.0	
	凝集剤(AL換算)	9.5	2.8	2.6	0.0	
オゾン+ 粒状活性炭	オゾン注入率	14.4	1.9	1.0	0.2	
	実接触時間	42.4	15.8	15.3	0.0	
	実滞留時間	96.5	27.1	15.2	5.5	
	溶存オゾン濃度	0.9	0.2	0.2	0.0	
	吸収効率	99.1	89.0	90.6	70.4	
生物処理	凝集剤(AL換算)	7.5	1.9	1.4	0.0	
	浸漬ろ床・回転円板	実接触時間	73.3	45.1	44.0	30.0
	生物接触ろ過	実SV	15.0	7.6	5.8	4.0
	生物接触ろ過	実LV	361.7	205.0	201.6	15.5
	生物接触ろ過	実接触時間	26.8	11.2	8.0	5.4
	凝集剤(AL換算)	11.7	2.2	1.7	0.0	

(2) ジェオスミン

- ・ 累積頻度分布は、生物処理方式を除けば、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順番で達成率が向上する結果となっている。また、オゾン処理+粒状活性炭処理方式において原水が 200ng/L のデータもあるが、十分処理できている結果となっている。
- ・ 散布図から、原水ジェオスミン濃度 50ng/L 程度以下で除去率では、分布にバラツキが見られるものの、原水ジェオスミン濃度 50ng/L の場合、粒状活性炭処理方式、オゾン処理+粒状活性炭処理方式の除去率は 90%であり、粉末活性炭処理方式に比べ高い除去率となっている。
- ・ 散布図から、生物処理方式は原水濃度の低い範囲で適用されている結果となっている。

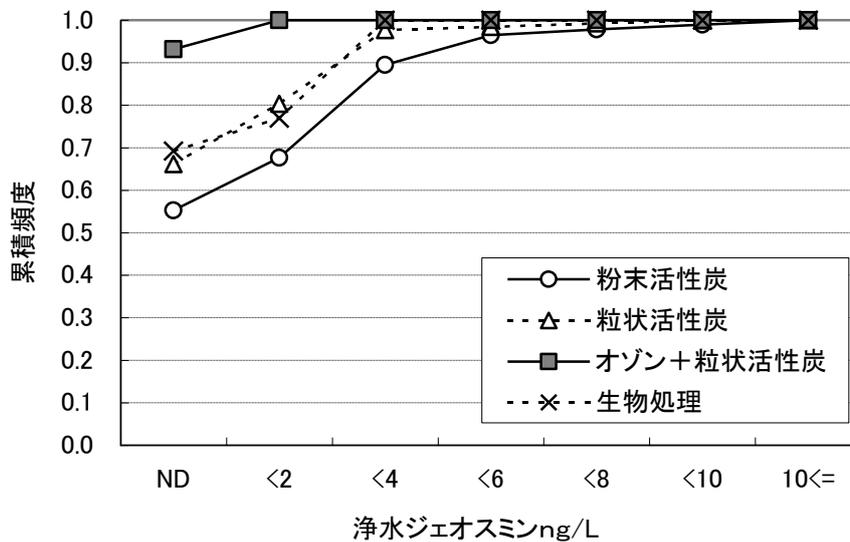


図-3-3-5 処理プロセス別にみた浄水水質の累積頻度分布 (浄水 ジェオスミン)

表-3-3-3 浄水水質別にみた浄水場数の累積比率及び達成率 (ジェオスミン)

浄水処理方式	原水 ng/L	浄水													
		ND		<2ng/L		<4ng/L		<6ng/L		<8ng/L		<10ng/L		10ng/L≤	
		達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数
粉末活性炭処理	0~92	55%	205	68%	46	89%	81	96%	26	99%	5	99%	4	100%	4
粒状活性炭処理	0~792	66%	84	80%	18	98%	22	98%	1	99%	1	100%	1	100%	0
オゾン処理+粒状活性炭処理	0~200	93%	82	100%	6	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0
生物処理	0~28	69%	18	77%	2	100%	6	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0

(ここで示した達成率は、表に示した原水水質の範囲内において適用される)

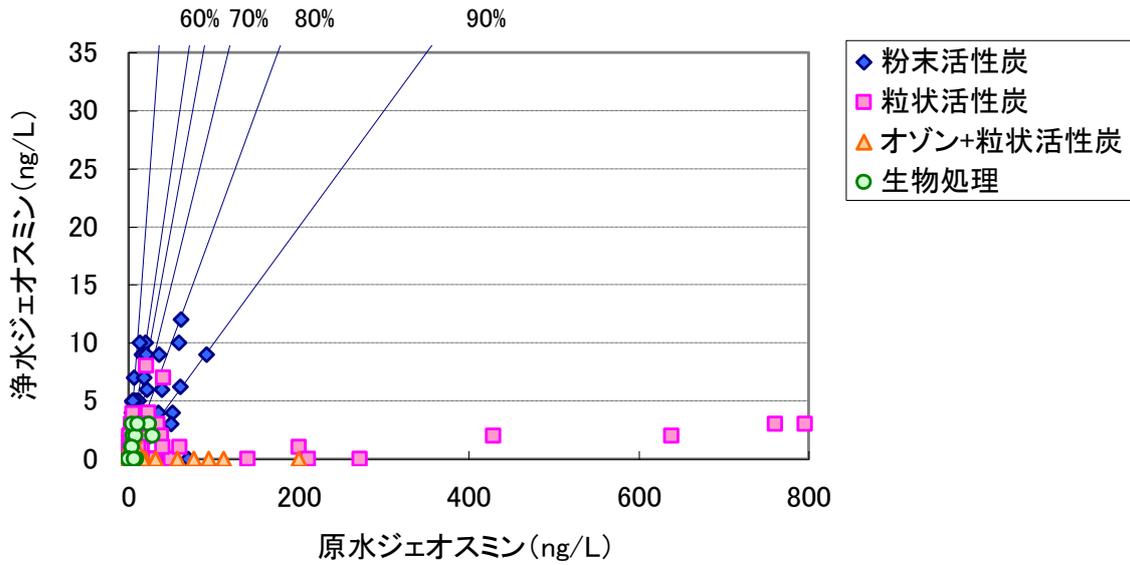


図-3-3-6 原水と浄水の散布図（ジェオスミン）

表-3-3-4 運転条件範囲

			最大	平均	中央値	最小
粉末活性炭	実接触時間		960.0	114.3	69.5	3.3
	注入率		28.7	6.7	5.0	0.1
粒状活性炭	通水日数		911.8	218.3	126.2	12.0
	実SV		5494.0	185.1	5.6	1.4
	実LV		343.0	165.0	180.0	1.8
	実接触時間		34.3	12.6	10.6	0.0
オゾン+ 粒状活性炭	オゾン注入率		9.3	1.7	1.0	0.2
	実接触時間		42.4	17.5	15.5	0.0
	実滞留時間		95.8	25.0	15.3	6.3
	溶存オゾン濃度		0.6	0.2	0.2	0.0
	吸収効率		99.3	88.9	89.9	70.1
生物処理	浸漬ろ床・回転円板	実接触時間	75.4	56.0	50.0	42.0
	生物接触ろ過	実SV	10.3	7.3	7.1	4.5
	生物接触ろ過	実LV	319.1	207.4	229.3	15.5
	生物接触ろ過	実接触時間	25.3	12.7	8.5	5.8

(3) 2-MIB

- ・ 累積頻度分布から、浄水濃度の高い範囲を除けば、生物処理方式、粒状活性炭処理方式、粉末活性炭処理方式、オゾン処理方式＋生物処理方式の順番で達成率が向上する結果となっている。
- ・ 粉末活性炭処理方式が粒状活性炭処理方式より達成率が高い分布となっているのは、粒状活性炭処理方式の方が適用されている原水水質範囲が広く、その影響を受けたものと考えられる。
- ・ 散布図から、原水 2-MIB 濃度が 50ng/L 以上と比較的高い場合のデータは、粉末活性炭処理方式、生物処理方式のデータ数が少なく、全ての高度浄水処理方式で明確な比較はできないが、粒状活性炭処理方式、オゾン処理＋粒状活性炭処理方式では 50ng/L 以上においても多くが除去率 90%以上で分布している結果となっている。

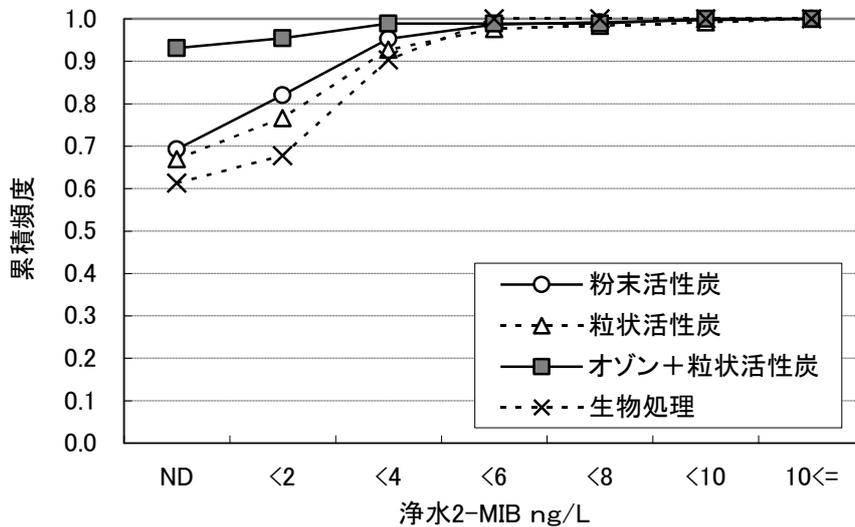


図-3-3-7 処理プロセス別にみた浄水水質の累積頻度分布（浄水 2-MIB）

表-3-3-5 浄水水質別にみた浄水場数の累積比率及び達成率（2-MIB）

浄水処理方式	原水 ng/L	浄水													
		ND		<2ng/L		<4ng/L		<6ng/L		<8ng/L		<10ng/L		10ng/L≤	
		達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数
粉末活性炭処理	0~71	69%	250	82%	46	95%	48	99%	12	99%	2	100%	2	100%	1
粒状活性炭処理	0~390	67%	83	77%	12	93%	20	98%	6	98%	1	99%	1	100%	1
オゾン処理＋粒状活性炭処理	0~1700	93%	81	95%	2	99%	3	99%	0	99%	0	100%	1	100%	0
生物処理	0~72	61%	19	68%	2	90%	7	100%	3	100%	0	100%	0	100%	0

（ここで示した達成率は、表に示した原水水質の範囲内において適用される）

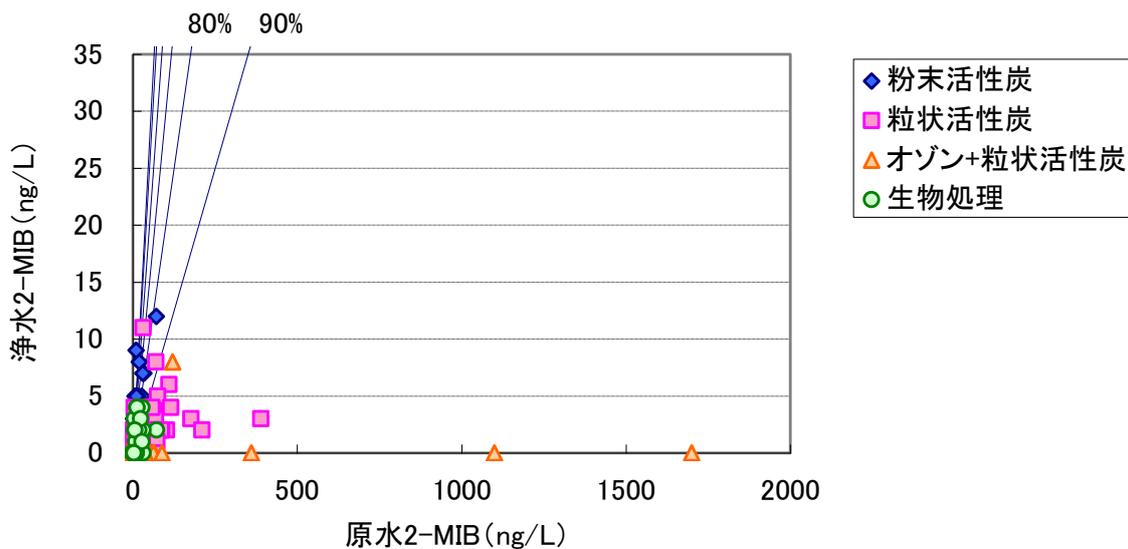


図-3-3-8 原水と浄水の散布図 (2-MIB)

表-3-3-6 運転条件範囲

			最大	平均	中央値	最小
粉末活性炭	実接触時間		960.0	120.6	67.6	3.2
	注入率		120.0	5.7	5.0	0.1
粒状活性炭	通水日数		958.0	216.6	149.0	12.0
	実SV		5494.0	190.7	4.6	1.4
	実LV		343.0	157.5	168.0	1.8
	実接触時間		34.3	13.3	13.3	0.0
オゾン+粒状活性炭	オゾン注入率		13.5	1.8	1.0	0.2
	実接触時間		42.4	16.8	15.5	0.0
	実滞留時間		96.1	24.6	14.0	6.7
	溶存オゾン濃度		0.5	0.2	0.2	0.0
生物処理	浸漬ろ床・回転円板	実接触時間	73.7	53.8	50.0	41.0
	生物接触ろ過	実SV	15.0	7.2	5.9	3.9
	生物接触ろ過	実LV	361.7	175.2	118.0	5.8
	生物接触ろ過	実接触時間	164.3	43.7	10.8	5.4

(4) 陰イオン界面活性剤

- ・ 累積頻度分布では、粉末活性炭処理方式の達成率が若干低いものの、その他の処理方式では達成率に大きな違いは認められず、いずれの処理方式でも高い達成率を確保できる結果となっている。
- ・ 散布図より、粒状活性炭処理方式、オゾン処理+粒状活性炭処理方式では多くが除去率50%以上で分布しているのに対し、粉末活性炭処理方式では除去率0~70%で広く分布しており、累積頻度分布と同様に粉末活性炭処理方式の除去率が低い傾向となっている。

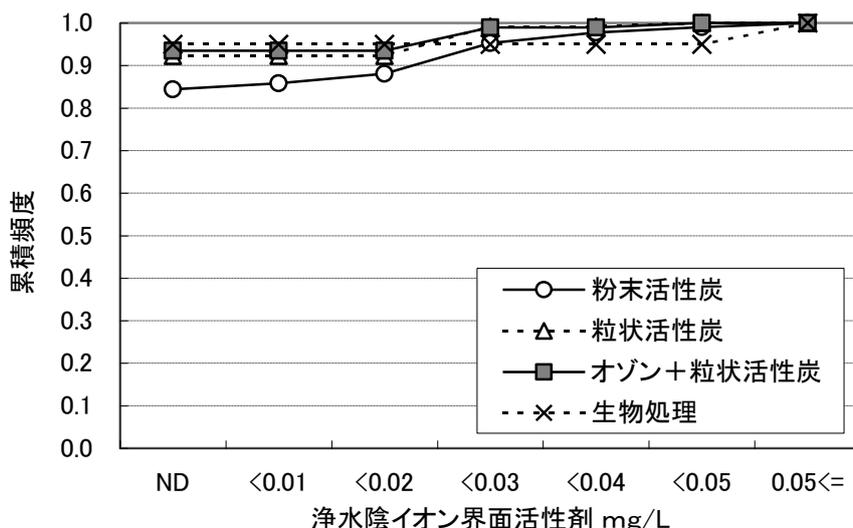


図-3-3-9 処理プロセス別にみた浄水水質の累積頻度分布 (浄水 陰イオン界面活性剤)

表-3-3-7 浄水水質別にみた浄水場数の累積比率及び達成率 (陰イオン界面活性剤)

浄水処理方式	原水 mg/L	浄水													
		ND		<0.01mg/L		<0.02mg/L		<0.03mg/L		<0.04mg/L		<0.05mg/L		0.05mg/L≤	
		達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数
粉末活性炭処理	0~0.1	84%	340	86%	6	88%	9	85%	29	88%	10	89%	5	100%	4
粒状活性炭処理	0~0.08	92%	108	92%	0	92%	0	99%	8	99%	0	100%	1	100%	0
オゾン処理+粒状活性炭処理	0~0.1	98%	86	98%	0	98%	0	99%	5	99%	0	100%	1	100%	0
生物処理	0~0.08	95%	19	95%	0	95%	0	95%	0	95%	0	95%	0	100%	1

(ここで示した達成率は、表に示した原水水質の範囲内において適用される)

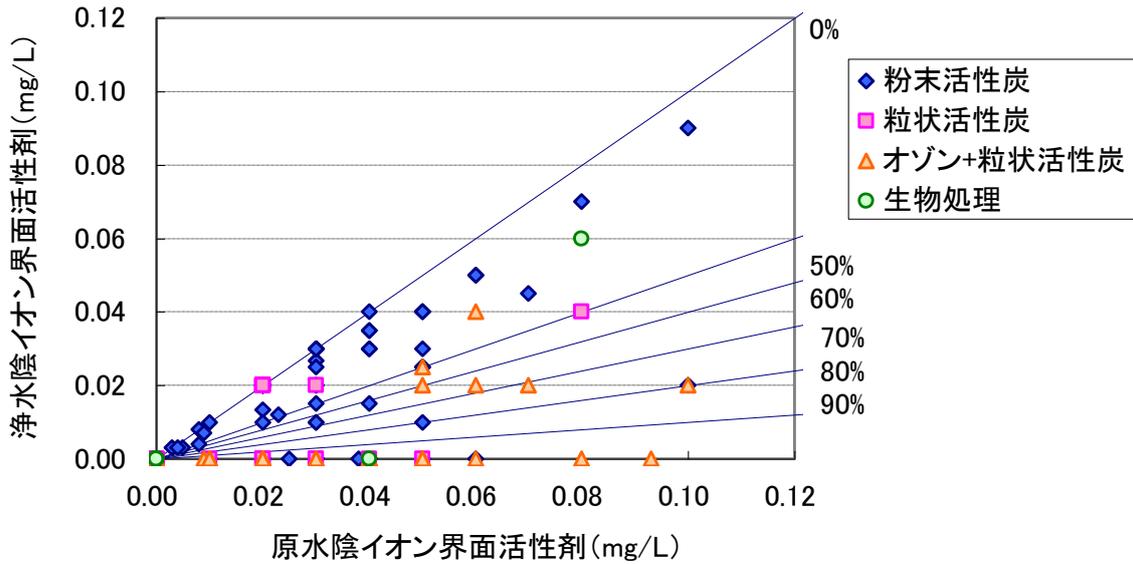


図-3-3-10 原水と浄水の散布図（陰イオン界面活性剤）

表-3-3-8 運転条件範囲

			最大	平均	中央値	最小
粉末活性炭	実接触時間		780.0	116.4	72.0	3.3
	注入率		28.7	5.5	3.8	0.1
粒状活性炭	通水日数		1062.3	221.2	144.0	4.0
	実SV		4570.0	272.1	7.5	1.3
	実LV		343.0	164.4	168.0	1.5
	実接触時間		41.9	13.6	10.7	0.0
オゾン+粒状活性炭	オゾン注入率		12.3	1.7	1.0	0.2
	実接触時間		38.3	16.6	15.9	0.1
	実滞留時間		96.2	29.7	17.8	6.3
	溶存オゾン濃度		0.7	0.2	0.2	0.0
生物処理	浸漬ろ床・回転円板	実接触時間	72.9	59.7	56.6	47.0
	生物接触ろ過	実SV	7.5	5.1	4.4	3.6
	生物接触ろ過	実LV	106.3	72.4	53.7	35.6
	生物接触ろ過	実接触時間	23.4	16.3	12.2	8.1

(5) 非イオン界面活性剤

- ・ 累積頻度分布では、達成率に若干の違いは見られるものの、いずれの処理でも高い達成率を確保できる結果となっている。
- ・ 散布図から、原水濃度が 0.01mg/L 以下の範囲において、粉末活性炭処理方式と粒状活性炭処理方式の一部の結果が除去率 0~50%で分布していること結果となっている。

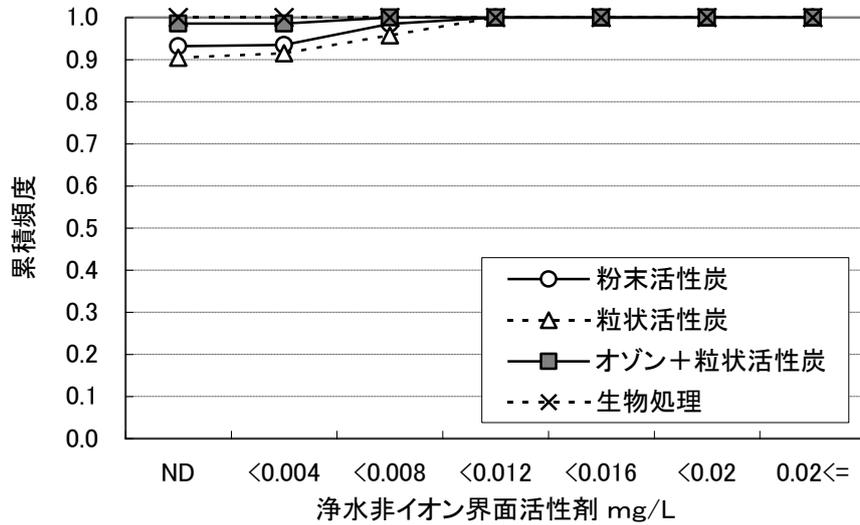


図-3-3-11 処理プロセス別にみた浄水水質の累積頻度分布（浄水 非イオン界面活性剤）

表-3-3-9 浄水水質別にみた浄水場数の累積比率及び達成率（非イオン界面活性剤）

浄水処理方式	原水 mg/L	浄水													
		ND		<0.004mg/L		<0.008mg/L		<0.012mg/L		<0.016mg/L		<0.02mg/L		0.02mg/L≤	
		達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数
粉末活性炭処理	0~0.023	93%	301	93%	1	98%	16	100%	5	100%	0	100%	0	100%	0
粒状活性炭処理	0~0.028	90%	85	91%	1	96%	4	100%	4	100%	0	100%	0	100%	0
オゾン処理+粒状活性炭処理	0~0.03	98%	70	99%	0	100%	1	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0
生物処理	0~0.009	100%	16	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0

（ここで示した達成率は、表に示した原水水質の範囲内において適用される）

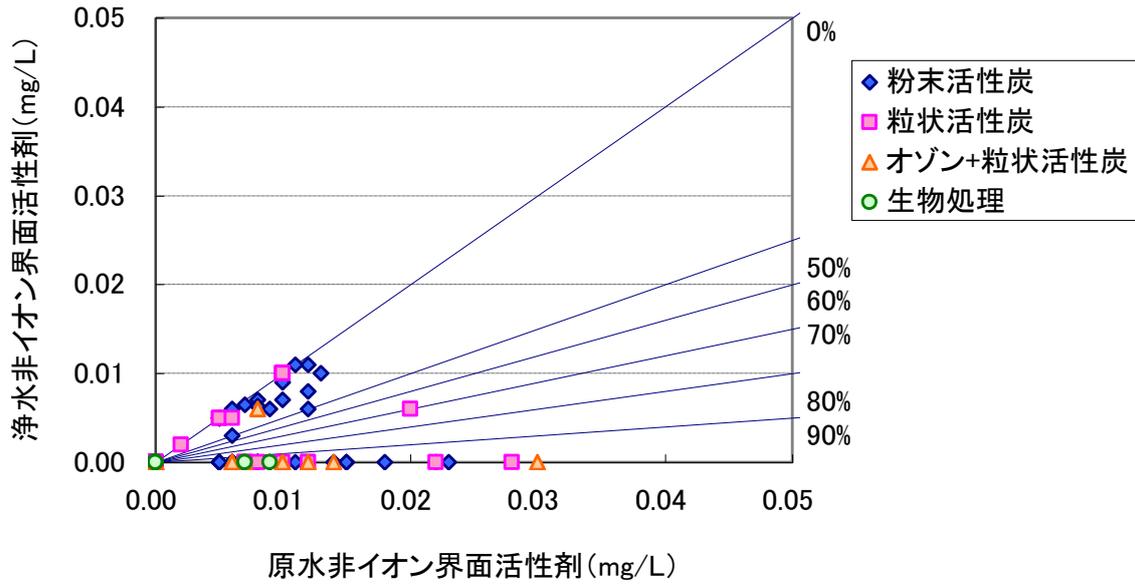


図-3-3-12 原水と浄水の散布図（非イオン界面活性剤）

表-3-3-10 運転条件範囲

			最大	平均	中央値	最小
粉末活性炭	実接触時間		1030.0	127.3	71.9	3.4
	注入率		27.0	3.9	3.7	0.1
粒状活性炭	通水日数		1047.0	218.3	129.0	24.0
	実SV		4570.0	272.5	7.5	1.2
	実LV		343.0	165.0	17.8	1.3
	実接触時間		45.3	13.8	10.7	4.8
オゾン+粒状活性炭	オゾン注入率		9.4	1.7	0.9	0.3
	実接触時間		40.9	16.9	16.1	0.1
	実滞留時間		96.2	29.5	16.6	5.5
	溶存オゾン濃度		0.6	0.2	0.2	0.0
生物処理	浸漬ろ床・回転円板	実接触時間	75.2	57.2	56.6	30.0
	生物接触ろ過	実SV	10.2	5.4	4.3	3.6
	生物接触ろ過	実LV	106.3	83.4	87.0	15.3
	生物接触ろ過	実接触時間	23.4	18.8	19.1	5.9

(6) 総トリハロメタン

- ・ 累積頻度分布から、生物処理方式を除くと、粒状活性炭処理方式、粉末活性炭処理方式、オゾン処理+生物処理方式の順番で達成率が高くなる結果となっている。
- ・ 散布図からは、原水トリハロメタン生成能と浄水総トリハロメタンには処理方式ごとの明確な違いは見られず、いずれの処理方式も広い範囲で除去率が分布している結果となっている。

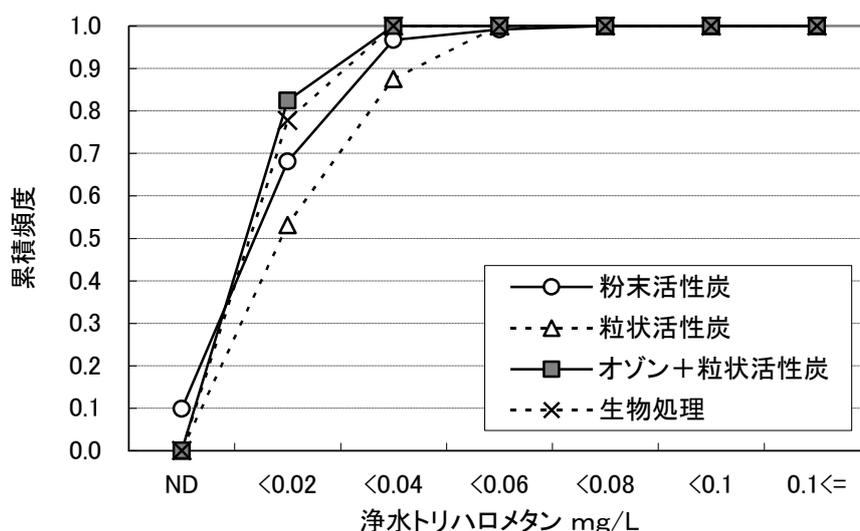


図-3-3-13 処理プロセス別にみた浄水水質の累積頻度分布（浄水 総トリハロメタン）

表-3-3-11 浄水水質別にみた浄水場数の累積比率及び達成率（総トリハロメタン）

浄水処理方式	原水 mg/L	浄水													
		ND		<0.02mg/L		<0.04mg/L		<0.06mg/L		<0.08mg/L		<0.1mg/L		0.1mg/L≦	
		達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数
粉末活性炭処理	0~0.216	10%	12	68%	71	97%	35	99%	3	100%	1	100%	0	100%	0
粒状活性炭処理	0.014~0.15	0%	0	53%	17	88%	11	100%	4	100%	0	100%	0	100%	0
オゾン処理+粒状活性炭処理	0.0027~0.155	0%	0	82%	47	100%	10	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0
生物処理	0.0383~0.071	0%	0	78%	7	100%	2	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0

（ここで示した達成率は、表に示した原水水質の範囲内において適用される）

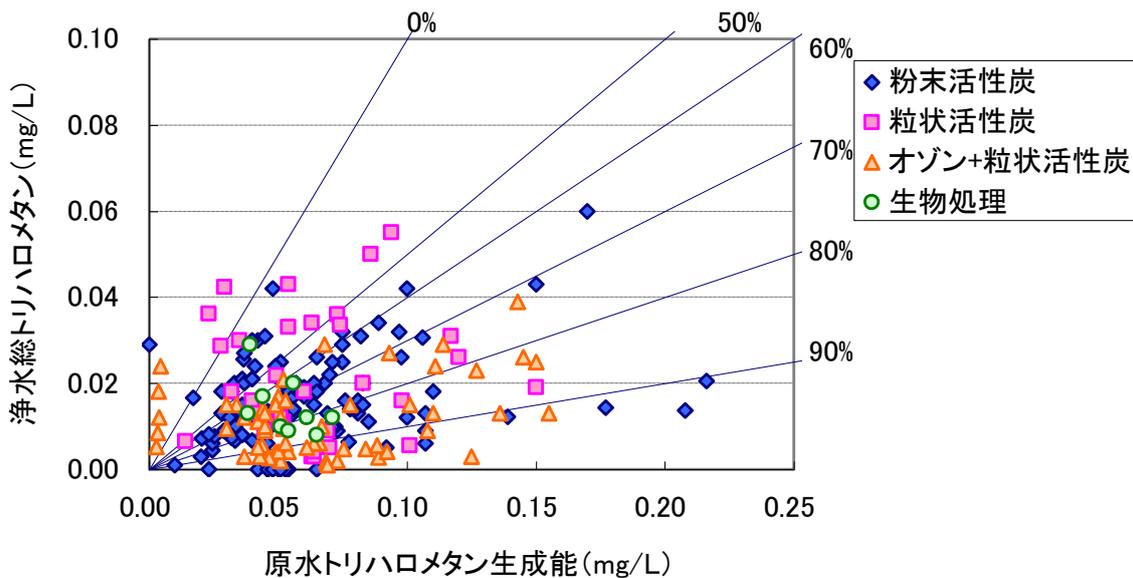


図-3-3-14 原水と浄水の散布図（総トリハロメタン）

表-3-3-12 運転条件範囲

			最大	平均	中央値	最小
粉末活性炭	実接触時間		1967.0	178.0	88.0	20.0
	注入率		120.0	9.8	5.0	0.1
粒状活性炭	通水日数		897.0	295.7	163.0	30.0
	実SV		99.3	10.6	5.0	1.8
	実LV		264.0	142.5	122.5	3.6
	実接触時間		26.6	13.4	11.3	8.2
オゾン+ 粒状活性炭	オゾン注入率		13.5	1.7	1.0	0.3
	実接触時間		42.4	19.0	16.5	0.4
	実滞留時間		94.6	24.8	17.0	7.0
	溶存オゾン濃度		0.5	0.2	0.2	0.0
生物処理	浸漬ろ床・回転円板	実接触時間	-	-	-	-
	生物接触ろ過	実SV	15.0	9.7	10.0	5.2
	生物接触ろ過	実LV	361.7	313.2	349.0	187.2
	生物接触ろ過	実接触時間	12.0	7.7	6.2	5.4

(7) 臭素酸

- ・ 累積頻度分布から、生物処理を除くと、粉末活性炭、粒状活性炭、オゾン+粒状活性炭の順に臭素酸濃度が高くなっている。
- ・ 原水臭化物イオンのデータが少ないため、明確な傾向は見出しにくいですが、オゾン処理+粒状活性炭処理方式において、臭素酸が最大で0.005 mg/L 検出されている。

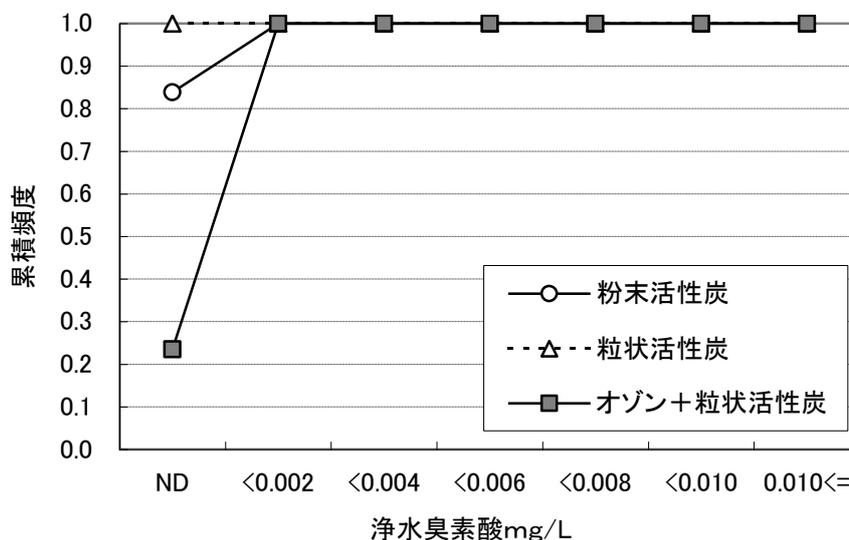


図-3-3-15 処理プロセス別にみた浄水水質の累積頻度分布（浄水 臭素酸）

表-3-3-13 浄水水質別にみた浄水場数の累積比率及び達成率（臭素酸）

浄水処理方式	原水 mg/L	浄水													
		ND		<1mg/L		<2mg/L		<3mg/L		<4mg/L		<5mg/L		5mg/L≤	
		達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数
粉末活性炭処理	ND~0.23	84%	52	100%	10	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0
粒状活性炭処理	ND	100%	4	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0
オゾン処理+粒状活性炭処理	ND~0.49	24%	8	100%	26	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0
生物処理	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

（ここで示した達成率は、表に示した原水水質の範囲内において適用される）

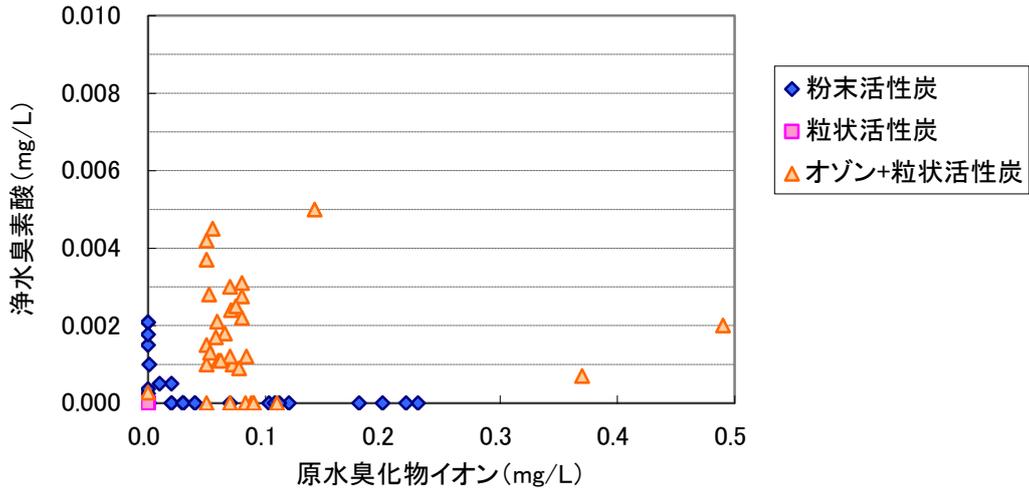


図-3-3-16 原水と浄水の散布図（臭素酸・臭化物イオン）

表-3-3-14 運転条件範囲

			最大	平均	中央値	最小
粉末活性炭	実接触時間		1967.0	178.0	88.0	20.0
	注入率		120.0	9.8	5.0	0.1
粒状活性炭	通水日数		897.0	295.7	163.0	30.0
	実SV		99.3	10.6	5.0	1.8
	実LV		264.0	142.5	122.5	3.6
	実接触時間		26.6	13.4	11.3	8.2
オゾン+ 粒状活性炭	オゾン注入率		13.5	1.7	1.0	0.3
	実接触時間		42.4	19.0	16.5	0.4
	実滞留時間		94.6	24.8	17.0	7.0
	溶存オゾン濃度		0.5	0.2	0.2	0.0
生物処理	浸漬ろ床・回転円板	実接触時間	-	-	-	-
	生物接触ろ過	実SV	15.0	9.7	10.0	5.2
	生物接触ろ過	実LV	361.7	313.2	349.0	187.2
	生物接触ろ過	実接触時間	12.0	7.7	6.2	5.4

(8) 紫外線吸光度

- ・ 累積頻度分布から、生物処理を除くと、粉末活性炭、粒状活性炭、オゾン+生物処理の順番で達成率が高くなる結果となっている。
- ・ 散布図によると、粉末活性炭、粒状活性炭、オゾン+粒状活性炭処理の順に除去率が高くなる傾向が認められる。

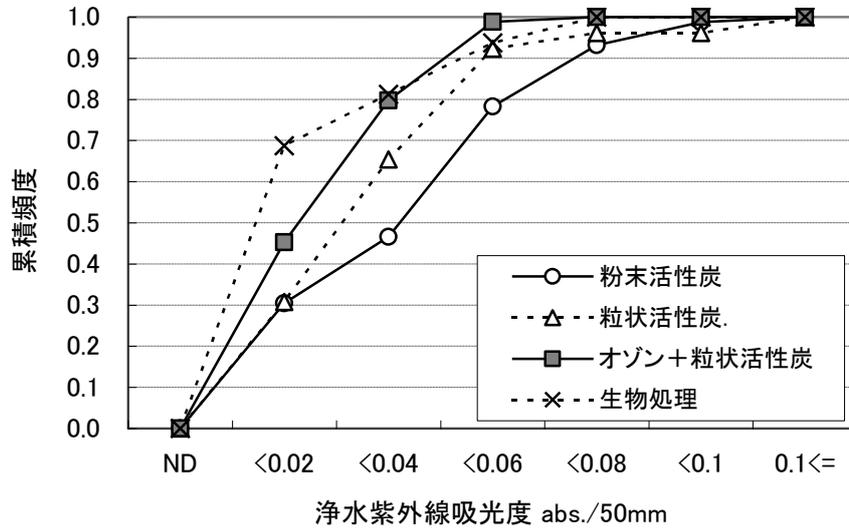


図-3-3-17 処理プロセス別にみた浄水水質の累積頻度分布（浄水 紫外線吸光度）

表-3-3-15 浄水水質別にみた浄水場数の累積比率及び達成率（紫外線吸光度）

浄水処理方式	原水	浄水													
		ND		<0.02		<0.04		<0.06		<0.08		<0.10		0.10 ≤	
		達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数
粉末活性炭処理	0.025~1.021	0%	0	30%	49	47%	26	78%	51	93%	24	99%	9	100%	2
粒状活性炭処理	0.084~0.817	0%	0	31%	8	65%	9	92%	7	96%	1	96%	0	100%	1
オゾン処理+粒状活性炭処理	0.045~0.995	0%	0	45%	38	80%	29	99%	16	100%	1	100%	0	100%	0
生物処理	0.042~0.72	0%	0	69%	11	81%	2	84%	2	100%	1	100%	0	100%	0

（ここで示した達成率は、表に示した原水水質の範囲内において適用される）

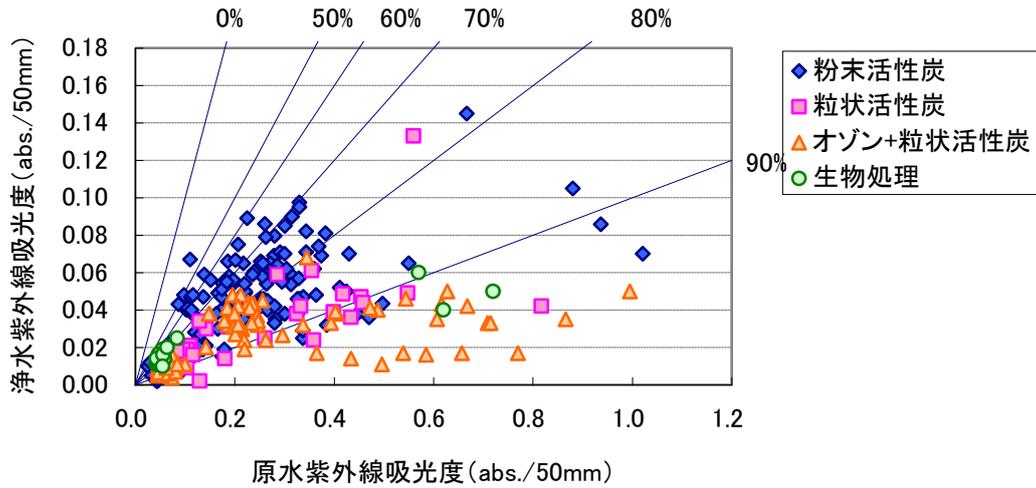


図-3-3-18 原水と浄水の散布図（臭素酸・紫外線吸光度）

表-3-3-16 運転条件範囲

			最大	平均	中央値	最小
粉末活性炭	実接触時間		1967.0	178.0	88.0	20.0
	注入率		120.0	9.8	5.0	0.1
粒状活性炭	通水日数		897.0	295.7	163.0	30.0
	実SV		99.3	10.6	5.0	1.8
	実LV		264.0	142.5	122.5	3.6
	実接触時間		26.6	13.4	11.3	8.2
オゾン+ 粒状活性炭	オゾン注入率		13.5	1.7	1.0	0.3
	実接触時間		42.4	19.0	16.5	0.4
	実滞留時間		94.6	24.8	17.0	7.0
	溶存オゾン濃度		0.5	0.2	0.2	0.0
生物処理	浸漬ろ床・回転円板	実接触時間	-	-	-	-
	生物接触ろ過	実SV	15.0	9.7	10.0	5.2
	生物接触ろ過	実LV	361.7	313.2	349.0	187.2
	生物接触ろ過	実接触時間	12.0	7.7	6.2	5.4

3) 累積頻度分布の活用例

本検討では、我が国で高度浄水処理を導入している 321 箇所の浄水場のうち 244 箇所の浄水場のデータを対象として高度浄水処理方式に応じて累積頻度分布を作成し、対象となる浄水水質が、どの程度にまで低減できるかを数値で示すことを試みた。検討の結果、処理の対象とする原水水質と運転条件が累積頻度分布を作成した範囲内であれば、目標とする浄水水質が得られる目安を達成率として確認することができ、「浄水処理方式候補の選定」を行う際の参考とすることが可能と考えられる。以下に、累積頻度分布の活用例を示す。

(1) 活用手順

① 原水水質の確認

既往の実績をもとに設定する原水水質について、累積比率の一覧表（表-3-3-1、表-3-3-3、表-3-3-5、表-3-3-7、表-3-3-9、表-3-3-11）の範囲内にあることを確認する。

② 運転条件の確認

運転条件の候補について、運転条件の範囲を示した一覧表（表-3-3-2、表-3-3-4、表-3-3-6、表-3-3-8、表-3-3-10、表-3-3-12）の範囲内にあることを確認する。

③ 浄水の目標濃度に応じた達成率の把握

①と②の確認作業において、検討の対象とする浄水処理フローのもとで原水水質と運転条件のいずれも範囲内にあることを確認したのち、累積頻度分布図（図-3-3-3、図-3-3-5、図-3-3-7、図-3-3-9、図-3-3-11、表-3-3-13）において浄水の目標濃度を当てはめ、これに対応する累積頻度（その浄水水質を達成することのできた浄水場数の累積比率（達成率））を読み取る。

(2) 具体例

上記(1)に示した活用手順について、粒状活性炭処理を下記の条件で導入することを検討する場合の活用例を示す。

- ・ 除去対象水質 : 2-MIB
- ・ 原水濃度 : 20ng/L
- ・ 運転条件 : $SV=5\sim 10h^{-1}$ 、 $LV=100\sim 200m/日$ 、実接触時間=6~12分
- ・ 目標浄水水質濃度 : $< 4ng/L$

① 原水水質の確認

- ・ 対象となる高度浄水処理フローが粒状活性炭であり、かつ除去対象水質が 2-MIB であることから、表-3-3-5 を選択する。

- ・ 原水濃度の設定値 (30 ng/L) について、表-3-3-5 に示した濃度範囲 (0~390 ng/L) に含まれていることを確認する。

② 運転条件の確認

- ・ 対象となる高度浄水処理フローが粒状活性炭であり、かつ除去対象水質が 2-MIB であることから表-3-3-6 を選択する。
- ・ 検討の対象とする運転条件 (SV=5~10h⁻¹、LV=100~200m/日、実接触時間=6~12 分) について、表-3-3-6 に示した範囲に含まれていることを確認する。

③ 浄水の目標濃度に応じた達成率の把握

- ・ 対象となる高度浄水処理フローが粒状活性炭であり、かつ除去対象水質が 2-MIB であることから図-3-3-7 及び表-3-3-5 を選択する。
- ・ 目標浄水水質濃度 (<4ng/L) に該当する達成率をグラフより読み取る。

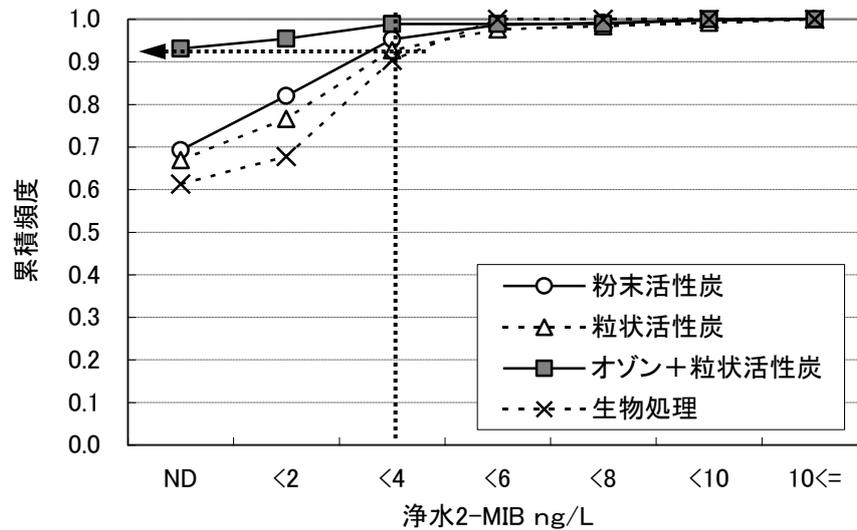


図-3-3-15 処理プロセス別にみた浄水水質の累積頻度分布 (浄水 2-MIB)

表-3-3-13 浄水水質別にみた浄水場数の累積比率及び達成率（2-MIB）

浄水処理方式	原水 ng/L	浄水													
		ND		<2ng/L		<4ng/L		<6ng/L		<8ng/L		<10ng/L		10ng/L≤	
		達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数	達成率	データ数
粉末活性炭処理	0～71	69%	250	82%	46	95%	48	98%	12	99%	2	100%	2	100%	1
粒状活性炭処理	0～390	67%	83	77%	12	93%	20	98%	6	99%	1	99%	1	100%	1
オゾン処理+粒状活性炭処理	0～1700	93%	81	95%	2	99%	3	99%	0	99%	0	100%	1	100%	0
生物処理	0～72	61%	19	68%	2	90%	7	100%	3	100%	0	100%	0	100%	0

- ・ 上記の検討の結果、達成率は93%となり、2-MIB 除去を目的として粒状活性炭フローを採用した場合、当該条件（原水水質・運転条件）を含む条件範囲で運転している我が国の浄水場のうち、93%の浄水場は浄水水質<4ng/L を達成しているとの情報が得られる。

(3) 留意点

上記のように、累積頻度分布を用いることで、導入を検討している高度浄水処理方式に対して、目標とする浄水水質の達成率を確認することができ、「浄水処理方式候補の選定」の参考になると思われるが、以下の点について留意する必要がある。

- ・ 浄水処理方式は同じではあっても、異なる浄水処理フローを含んでいる。
- ・ この方法は実際の浄水場のデータに基づいて作成していることから、各浄水場の運転年数・稼働率等の影響を含む場合もある。
- ・ この方法は実際の浄水場のデータに基づいて作成していることから、原水水質・運転条件が集計した範囲外である場合には使用することができない。
- ・ 運転条件を範囲として示しているが、個々の設定値を選定することはできない。

3-4 重回帰分析を用いた特徴分析

1) 概要

3-2 では、高度浄水処理を導入している浄水場を対象としたアンケート結果をもとに、施設諸元の傾向を把握し、同一の浄水処理方式の中で個々の施設諸元の範囲を示した。また、3-3 では、高度浄水処理方式ごとに浄水水質の累積頻度分布を作成し、高度浄水処理の対象とする水質項目について、浄水水質がどの程度まで低減できるかを数値化することを試みた。検討の結果、原水水質と運転条件が累積頻度分布を作成した範囲内であれば、目標とする浄水水質が得られる目安（達成率）を確認できることが明らかとなったが、複数の運転条件を組み合わせた場合の傾向について、明らかにすることは困難であった。このため、ここでは複数の変数を同時に考慮しながら、変数間の関連性を検討することができる重回帰分析を用いて、原水水質、浄水水質、施設諸元、運転条件の間の関連性について検討を行った。

(1) 解析モデルの基本形

- ・ 取水した水道原水に浄水用薬品を投入して浄水処理を行い、製品としての浄水を製造するプロセスを模式的に考えると、以下の式に示すように、浄水水質は原水水質の関数として表すことができ、その関数を規定するものは施設諸元、運転条件、他の原水水質と捉えることができる。

－ 解析モデルの基本形 －

$$\text{基本形} \quad C_t^i = f^i(C_r^i)$$

C_t^i : 浄水水質*i* (*treated water concentration*)

C_r^i : 原水水質*i* (*raw water concentration*)

i : 水質項目

f^i : 処理による水質項目*i*の変換

f^i は施設諸元、運転条件、他の原水水質の関数である。

(2) 重回帰モデルによる定式化

- ・本検討では、アンケートによって得られた高度浄水処理を導入している全国の浄水場のデータが上記の考え方に従っているという仮説のもと、原水から浄水への水質変化の状態を定式化することを試みた。
- ・データ系列間の関連性を検討する解析方法として、例えば一対の変数間の線形の相関関係に着目した単相関分析があるが、この方法では他の項目の影響を考慮することに限界があるため、多変量解析の手法の一つである重回帰分析を適用した。
- ・重回帰分析において有意性が高いと判断された説明変数は、当該水質項目の処理性に対して何らかの影響を及ぼしていると考えられる。

— 重回帰式による定式化 —

$$C_t^i = \sum_i \alpha^i C_r^i + \sum_j \beta^j X^j + \sum_k \gamma^k Y^k + \delta$$

浄水水質	原水水質	施設諸元	運転条件	定数項

$\alpha^i, \beta^j, \gamma^k$: 偏回帰係数

X^j : キーになる施設諸元

Y^k : キーになる運転条件

- ・上記の方法は *e-Water II* の機能評価委員会でも適用しており（参考資料-1-2）、検討結果の一例として、粉末活性炭処理の場合の浄水 2-MIB を目的変数とした重回帰モデルを表-3-4-1、各説明変数の偏相関係数、重相関係数を図-3-4-1 に示す。
- ・有意な説明変数と判断された項目は、原水 2-MIB 濃度（X1）、粉末活性炭注入率（X2）、沈澱池形状（高速凝集沈澱池の有無）（X3）、原水最高 KMnO4 濃度（X4）、原水最低色度（X5）、原水平均色度（X6）であり、浄水処理技術の知見が比較的良好に反映された結果が得られている。

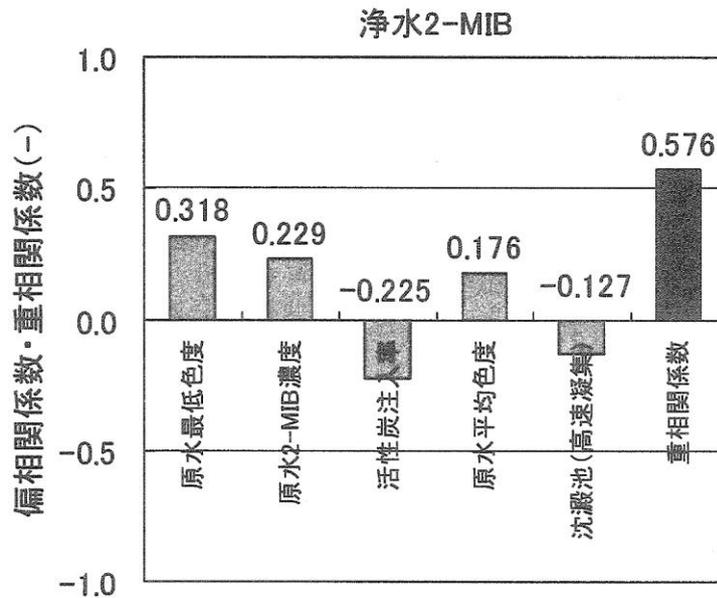
表-3-4-1 浄水 2-MIB を目的変数とした重回帰モデルの例

重相関係数:0.576

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果
浄水2-MIB濃度	ng/L	-	-	y	0	2	9	1.88	-	-
水質 原水2-MIB濃度	ng/L	a ₁	0.037	X ₁	0.1	6	150	13.7	10ng/L 上昇	0.37ng/L 上昇
運転条件 活性炭注入率	mg/L	a ₂	-0.031	X ₂	0	10	150	16.6	10ng/L 上昇	0.31ng/L 下降
施設諸元 沈殿池形状 (高速凝集)	有1.無0	a ₃	-0.926	X ₃	0	1	1	0.23	有→無	0.93ng/L 上昇
水質 原水最高 過Mn消費量	mg/L	a ₄	0.013	X ₄	14.4	34.2	65	14.6	10mg/L 上昇	0.13ng/L 上昇
水質 原水最低色度	度	a ₅	0.575	X ₅	0.7	5	5	1.1	10mg/L 上昇	5.75ng/L 上昇
水質 原水平均色度	度	a ₆	0.117	X ₆	3	13	13.4	2.76	10mg/L 上昇	1.17ng/L 上昇
定数項	-	-	-2.257	b						

$$y \text{ (浄水2-MIB(ng/L))} = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + b$$

[e-Water II最終報告書 (機能評価委員会) より引用]



説明変数(偏相関係数絶対値上位5位)

[e-Water II最終報告書 (機能評価委員会) より引用]

図-3-4-1 浄水 2-MIB 濃度に関する抽出説明変数

2) 単相関分析の結果

- 重回帰分析を行うに先立ち、各変数間の相関関係を明らかにするための単相関分析を行い、重回帰式に採用する説明変数の抽出を試みた。
- 単相関分析結果の一例は表-3-4-2 に示すとおりであり、原水水質と原水水質、あるいは原水水質と浄水水質の間では、例えばトリハロメタン生成能と総トリハロメタンの相関

が比較的高い等、水質の一般的な性質を表す結果が得られた組合せもあるが、運転条件と浄水水質のように、必ずしも期待するような結果が得られなかった組合せも存在した。

- ・また、原水同士の水質相関を算出したにも関わらず、相関係数の値が処理方式によって異なる結果も得られており、数多くのデータの中から一对のデータによって算出する単相関分析のみによって、要因間の関連性を明らかにすることは困難であった。
- ・以上のことから、重回帰分析の説明変数を選択する際には、単相関分析の結果を踏まえつつ、水処理工学の知見を反映させる必要があると判断された。

表-3-4-2 単相関分析結果の一例

組合せ	相関係数 (データ数)	考察
原水 2-MIB 原水ジエオスミン	+0.325 (2884) +0.451 (907) +0.468 (786) +0.181 (146)	<ul style="list-style-type: none"> ・どちらも藍藻類や放線菌が産生するかび臭物質であり、発生の傾向が比較的類似しやすいと考えられる。 ・粉炭と粒炭では同等の相関が得られたが、オゾンと生物処理では明確な相関が見られなかった。
原水 THMFP 原水紫外線吸光度	+0.692 (661) +0.566 (205) +0.633 (473) +0.145 (85)	<ul style="list-style-type: none"> ・紫外線吸光度は分子構造の中に不飽和二重結合有する難分解性有機物の一つの指標である。一般にトリハロメタン生成能と相関が高いとされており、生物処理を除き、このことが実際のデータから検証された。
原水 TOC 浄水色度	+0.076 (3094) -0.030 (1250) -0.188 (978) -0.061 (322)	<ul style="list-style-type: none"> ・色度は主にフミン質に由来し、有機物と比較的高い相関があるとされているが、凝集剤、オゾン、活性炭による除去効果があることから、原水 TOC と浄水色度の間には明確な傾向が認められなかった。
原水 THMFP 浄水総トリハロメタン	+0.384 (682) +0.340 (251) +0.452 (411) +0.273 (86)	<ul style="list-style-type: none"> ・THM 前駆物質は各種の高度浄水処理による低減効果を有する。オゾンや生物処理ではほとんど相関が認められないが、粉炭と粒炭については、やや正の相関が見られており、これらの処理では、原水の水準が浄水に対してやや影響を及ぼしていることが推察される。
PAC 注入率 浄水紫外線吸光度	-0.020 (1562) +0.130 (340) +0.099 (571) +0.059 (196)	<ul style="list-style-type: none"> ・紫外線吸光度は凝集剤による低減効果を有するため、一般には負の相関を有すると考えられる。活性炭やオゾンによる低減、あるいは原水の水準の影響も含まれているため、生物処理以外では明確な傾向が認められなかった。
粉末活性炭注入率 浄水紫外線吸光度	+0.025 (1643) -0.241 (41) +0.146 (159) -0.069 (172)	<ul style="list-style-type: none"> ・粉末活性炭は紫外線吸光度を除去する効果を有するため、一般には負の相関を有するとされるが、他の要因も含まれるため、粉末活性炭について明確な相関が得られなかった。
オゾン注入率 浄水臭素酸	*(0) *(0) +0.065 (745) *(0)	<ul style="list-style-type: none"> ・臭素酸はオゾン処理による副生成物であり、オゾン注入率、臭化物イオン、pH 値が高いほど生成が進行することが知られているが、単相関分析では明確な相関が得られなかった。

下記の順番に相関係数とデータ数を並べている

- 粉末活性炭
- 粒状活性炭
- オゾン+粒状活性炭
- 生物処理

3) 重回帰分析の結果

(1) 分析方法

- ・ 単相関分析の結果を踏まえつつ、浄水処理技術の知見をもとに重回帰分析に用いる説明変数（原水水質、運転条件）を選定し、浄水水質を目的変数とする重回帰分析を行った。
- ・ 目的変数と説明変数の組合せは表-3-4-3 に示すとおりであり、6 項目（TOC、総トリハロメタン、臭素酸、紫外線吸光度、ジェオスミン、2-MIB）について、3 通りの処理方式（粉末活性炭、粒状活性炭、オゾン+粒状活性炭）毎に重回帰式を作成した。また、各々の組合せにおいて、2 通りの説明変数の組合せを設定した。
- ・ 目的変数である浄水水質が定量下限値以下（解析上は 0 と設定）の場合、除去量（原水水質－浄水水質）とこれに対応する運転条件の関係が一致していない可能性があるため、抽出された全てのデータを用いたものをデータ数 1、浄水が定量下限値以下のデータを除外したものをデータ 2 と表記した上で、データ 2 をもとに重回帰分析を行った（表-3-4-4）。

(2) 分析結果

表-3-4-3 に示した説明変数を対象として、変数増減法^{*}によって重回帰分析を行った結果を表-3-4-4 に示す。表中では、重回帰式の適合度を示す寄与率が比較的高かった式（0.5 以上）を着色し、以下では処理方式ごとに重回帰モデルとしての評価を行った。

※ 重回帰分析における変数選択手法について

(1) 変数増加法(forward selection method)

説明変数を選択する際、ステップ毎に寄与率の増加が最も高くなるものを 1 つずつ加えていく方法である。

- ① 与えられた複数の説明変数のうち、目的変数との単相関係数が最大のものを選択し、これをもとに単回帰式を作成する。
- ② ①で選択した以外の説明変数の中から、寄与率が最大となる説明変数を 1 つ追加して重回帰式を作成する。
- ③ 上記の手順を打ち切り基準に達するまで繰り返して重回帰式を作成する。
[打ち切り基準]
計算をどこで打ち切るかを定める規則としては以下の 3 通りがある。
 - ・ 予め選択する説明変数の数 r を決めておき、 r に達した時点で打ち切る。
 - ・ 重回帰式の適合度を表す寄与率 R^2 （または重相関係数 R ）の値を予め決めておき、 R^2 または R に達した時点で打ち切る。
 - ・ 変数を 1 つ追加することによる寄与率の増分に注目し、これが予め決めておいた値以下になれば打ち切る。

(2) 変数減少法(backward elimination method)

変数増加法とは逆に、全ての説明変数で重回帰式を作成し、それから変数を 1 つずつ取り除く方法である。

(3) 変数増減法(stepwise method)

変数増加法と変数減少法を補うように組み合わせた手法である。変数増加法では一度取り込まれた変数が後で取り除かれることはない。一方、変数減少法では一度取り除かれた変数が再び取り込まれることはない。しかし、ある段階では寄与率の増加をもたらす有用な変数であっても、その後で他のいくつかの変数が取り込まれた段階では、重回帰式の寄与率が低下することがある。この点を改良して、一定の基準のもとで変数の除去と取り込みを繰り返しながら重回帰式を作成する方法である。

表-3-4-3 目的変数と説明変数の組合せ（一次スクリーニング）

目的変数		説明変数		
水質項目	対象水	粉末活性炭	粒状活性炭	オゾン+粒状活性炭
①-1 TOC	浄水	原水 TOC 原水濁度、原水 pH 値	原水 TOC 原水濁度、原水 pH 値	原水 TOC 原水濁度、原水 pH 値
		粉末活性炭 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	粒状活性炭実 SV 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	オゾン注入率、粒状活性炭実 SV 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素
①-2 TOC	浄水	原水 TOC 原水濁度、原水 pH 値	原水 TOC 原水濁度、原水 pH 値	原水 TOC 原水濁度、原水 pH 値
		粉末活性炭、粉末活性炭接触時間 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	粒状活性炭実 SV、通水日数 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	オゾン注入率、粒状活性炭実 SV、通水日数 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素
②-1 総トリハロメタン	浄水	原水紫外線吸光度 原水濁度、原水 pH 値、原水水温	原水紫外線吸光度 原水濁度、原水 pH 値、原水水温	原水紫外線吸光度 原水濁度、原水 pH 値、原水水温
		粉末活性炭 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	粒状活性炭実 SV 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	オゾン注入率、粒状活性炭実 SV 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素
②-2 総トリハロメタン	浄水	原水紫外線吸光度 原水濁度、原水 pH 値、原水水温	原水紫外線吸光度 原水濁度、原水 pH 値、原水水温	原水紫外線吸光度 原水濁度、原水 pH 値、原水水温
		粉末活性炭、粉末活性炭接触時間 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	粒状活性炭実 SV、通水日数 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	オゾン注入率、粒状活性炭実 SV、通水日数 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素
③ 臭素酸	浄水	—	—	原水臭化物イオン、原水アンモニア態窒素 原水濁度、原水 pH 値、原水水温
		—	—	オゾン注入率、前塩素
④-1 紫外線吸光度	浄水	原水紫外線吸光度、 原水濁度、原水 pH 値	原水紫外線吸光度、 原水濁度、原水 pH 値	原水紫外線吸光度、 原水濁度、原水 pH 値
		粉末活性炭 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	粒状活性炭実 SV 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	オゾン注入率、粒状活性炭実 SV 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素

目的変数		説明変数		
水質項目	対象水	粉末活性炭	粒状活性炭	オゾン+粒状活性炭
④-2 紫外線吸光度	浄水	原水紫外線吸光度、 原水濁度、原水 pH 値	原水紫外線吸光度、 原水濁度、原水 pH 値	原水紫外線吸光度、 原水濁度、原水 pH 値
		粉末活性炭、粉末活性炭接触時間 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	粒状活性炭実 SV、通水日数 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	オゾン注入率、粒状活性炭実 SV、通水日数 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素
⑤-1 ジエオスミン	浄水	原水ジエオスミン、原水 TOC、原水濁度	原水ジエオスミン、原水 TOC、原水濁度	原水ジエオスミン、原水 TOC、原水濁度
		粉末活性炭、凝集剤 (PAC) 前塩素、中間塩素、後塩素	粒状活性炭実 SV 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	オゾン注入率、粒状活性炭実 SV 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素
⑤-2 ジエオスミン	浄水	原水ジエオスミン、原水 TOC、原水濁度	原水ジエオスミン、原水 TOC、原水濁度	原水ジエオスミン、原水 TOC、原水濁度
		粉末活性炭、粉末活性炭接触時間、凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	粒状活性炭実 SV、通水日数 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	オゾン注入率、粒状活性炭実 SV、通水日数 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素
⑥-1 2-MIB	浄水	原水 2-MIB、原水 TOC、原水濁度	原水 2-MIB、原水 TOC、原水濁度	原水 2-MIB、原水 TOC、原水濁度
		粉末活性炭、凝集剤 (PAC) 前塩素、中間塩素、後塩素	粒状活性炭実 SV 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	オゾン注入率、粒状活性炭実 SV 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素
⑥-2 2-MIB	浄水	原水 2-MIB、原水 TOC、原水濁度	原水 2-MIB、原水 TOC、原水濁度	原水 2-MIB、原水 TOC、原水濁度
		粉末活性炭、粉末活性炭接触時間、凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	粒状活性炭実 SV、通水日数 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素	オゾン注入率、粒状活性炭実 SV、通水日数 凝集剤 (PAC)、前塩素、中間塩素、後塩素

上行：関連すると推測される水質

下行：関連すると推測される運転条件（施設諸元については、数値化の段階に至っていないため割愛した）

各行の中で、上段：固有の水質項目

下段：一般的な水質項目

※ 本来は原水 THMFP で検討すべきであるが、データ数が少ないため、比較的相関が高いとされている紫外線吸光度を用いた。

表-3-4-4 重回帰分析結果

水質項目	対象水	処理フロー	データ数1	浄水場数1	データ数2	浄水場数2	重相関係数	寄与率	自由度調整済み寄与率
①-1 TOC	浄水	粉末活性炭	2612	91	2320	91	0.6485	0.4206	0.4188
		粒状活性炭	927	27	786	27	0.4354	0.1896	0.1852
		オゾン+粒状活性炭	297	8	297	8	0.4387	0.1925	0.1786
①-2 TOC	浄水	粉末活性炭	1190	61	1071	61	0.7057	0.4980	0.4946
		粒状活性炭	712	22	578	22	0.4192	0.1757	0.1687
		オゾン+粒状活性炭	184	5	184	5	0.5850	0.3423	0.3200
②-1 総トリハロメタン	浄水	粉末活性炭	1152	40	1054	38	0.6264	0.3923	0.3881
		粒状活性炭	231	9	227	9	0.8032	0.6451	0.6355
		オゾン+粒状活性炭	174	7	172	7	0.7556	0.5709	0.5581
②-2 総トリハロメタン	浄水	粉末活性炭	761	35	700	31	0.6132	0.3760	0.3694
		粒状活性炭	148	7	145	7	0.7951	0.6322	0.6139
		オゾン+粒状活性炭	93	4	92	4	0.7387	0.5457	0.5304
③ 臭素酸	浄水	粉末活性炭	-	-			-	-	-
		粒状活性炭	-	-			-	-	-
		オゾン+粒状活性炭	332	10	245	9	0.5341	0.2853	0.2743
④-1 紫外線吸光度	浄水	粉末活性炭	1441	34	1441	34	0.7985	0.6375	0.6355
		粒状活性炭	285	7	285	7	0.7399	0.5475	0.5377
		オゾン+粒状活性炭	312	8	311	8	0.6728	0.4527	0.4437
④-2 紫外線吸光度	浄水	粉末活性炭	980	32	980	32	0.7784	0.6058	0.6022
		粒状活性炭	196	5	196	5	0.7749	0.6004	0.5899
		オゾン+粒状活性炭	189	5	188	5	0.7002	0.4902	0.4705
⑤-1 ジエオスミン	浄水	粉末活性炭	1813	85	588	57	0.4803	0.2307	0.2285
		粒状活性炭	543	25	115	16	0.4134	0.1709	0.1601
		オゾン+粒状活性炭	168	8	2	1			
⑤-2 ジエオスミン	浄水	粉末活性炭	748	52	202	31	0.4839	0.2341	0.2290
		粒状活性炭	384	20	83	12	0.3109	0.0967	0.0847
		オゾン+粒状活性炭	91	5	2	1			
⑥-1 2-MIB	浄水	粉末活性炭	1825	81	295	48	0.4478	0.2006	0.1984
		粒状活性炭	524	24	112	10	0.4264	0.1818	0.1755
		オゾン+粒状活性炭	169	8	3	1			
⑥-2 2-MIB	浄水	粉末活性炭	756	52	121	31	0.2249	0.0506	0.0455
		粒状活性炭	365	19	76	7	0.4216	0.1778	0.1686
		オゾン+粒状活性炭	92	5	3	1			

データ数2、浄水場数2とは、浄水の値が定量下限値以下のものを外した場合のデータ数であり、重回帰分析はこのデータをもとに実施した。
重回帰式の適合度が比較的高かった組合せを抽出し(クリーム色で着色)、説明変数のグラフ化及び実測値と重回帰による計算値の散布図を示した。

① 粉末活性炭処理方式

粉末活性炭処理で重回帰式の適合度が比較的高かった組合せは、浄水の紫外線吸光度を目的変数とする④-1と④-2であり、両者の違いは、説明変数の中に粉末活性炭の実接触時間を含むか否かという点である。作成された重回帰モデルを表-3-4-5～表-3-4-6、重回帰式による推定値と実測値の散布図を図-3-4-2、説明変数の偏相関係数、重回帰式の重相関係数と寄与率を図-3-4-3に示し、概要を以下に述べる。

- ・ 重相関係数は 0.7784～0.7985、寄与率は 0.6058～0.6375 であり、重回帰式の適合度は比較的高かった。
- ・ 偏相関係数が最も大きい説明変数は、④-1及び④-2ともに原水の紫外線吸光度であり、浄水の値が原水の影響を強く受けていることを表している。
- ・ 運転条件に関する説明変数としては、粉末活性炭注入率、PAC注入率、粉炭実接触時間等が挙げられた。いずれも負の相関を示しており、薬品注入率や接触時間を大きくすると浄水の値が低くなるという浄水処理の知見を反映する結果となっている。

表-3-4-5 浄水紫外線吸光度を目的変数とした重回帰モデル (④-1)

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果 (abs./10mm)
浄水紫外線吸光度	abs./10mm	—	—	y	0.001	0.039	0.110	0.020	—	—
原水紫外線吸光度	abs./10mm	a1	0.18755	x1	0.003	0.115	0.937	0.083	0.1 abs./10mm上昇	0.0188 上昇
粉末活性炭注入率	mg/L	a2	-0.00061	x2	0.0	2.8	120.0	7.6	10 mg/L上昇	0.0061 低下
原水pH値	—	a3	0.01219	x3	6.6	7.5	9.1	0.3	1 上昇	0.0122 上昇
PAC注入率	mg/L	a4	-0.00014	x4	0.0	31.8	180.7	19.7	10 mg/L上昇	0.0014 低下
後塩素注入率	mg/L	a5	0.00875	x5	0.0	0.2	4.5	0.3	1 mg/L上昇	0.0088 上昇
前塩素注入率	mg/L	a6	-0.00116	x6	0.0	0.7	8.2	1.1	1 mg/L上昇	0.0012 低下
原水濁度	度	a7	-0.00006	x7	0.2	4.5	630.0	20.6	10 度上昇	0.0006 低下
中間塩素注入率	mg/L	a8	0.00103	x8	0.0	0.8	5.4	0.6	1 mg/L上昇	0.0010 上昇
定数項	—	b	-0.07191	—	—	—	—	—	—	—

$$y(\text{浄水紫外線吸光度 (abs./10mm)}) = \sum a_i \times x_i + b \quad (i=1\sim 8)$$

表-3-4-6 浄水紫外線吸光度を目的変数とした重回帰モデル (④-2)

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果 (abs./10mm)
浄水紫外線吸光度	abs./10mm	—	—	y	0.001	0.040	0.110	0.021	—	—
原水紫外線吸光度	abs./10mm	a1	0.17289	x1	0.003	0.130	0.937	0.087	0.1 abs./10mm上昇	0.0173 上昇
粉末活性炭注入率	mg/L	a2	-0.00068	x2	0.0	4.8	120.0	8.5	10 mg/L上昇	0.0068 低下
原水pH値	—	a3	0.01366	x3	6.6	7.5	9.1	0.3	1 上昇	0.0137 上昇
前塩素注入率	mg/L	a4	-0.00135	x4	0.0	1.1	8.2	1.1	1 mg/L上昇	0.0014 低下
PAC注入率	mg/L	a5	-0.00012	x5	0.0	37.0	180.7	21.4	10 mg/L上昇	0.0012 低下
後塩素注入率	mg/L	a6	0.00856	x6	0.0	0.2	4.5	0.3	1 mg/L上昇	0.0086 上昇
粉炭実接触時間	分	a7	-0.00001	x7	3.1	91.7	2070.0	153.8	60 分上昇	0.0006 低下
原水濁度	度	a8	-0.00004	x8	0.2	5.2	630.0	23.6	10 度上昇	0.0004 低下
中間塩素注入率	mg/L	a9	0.00128	x9	0.0	0.8	5.4	0.6	1 mg/L上昇	0.0013 上昇
定数項	—	b	-0.07870	—	—	—	—	—	—	—

$$y(\text{浄水紫外線吸光度 (abs./10mm)}) = \sum a_i \times x_i + b \quad (i=1\sim 9)$$

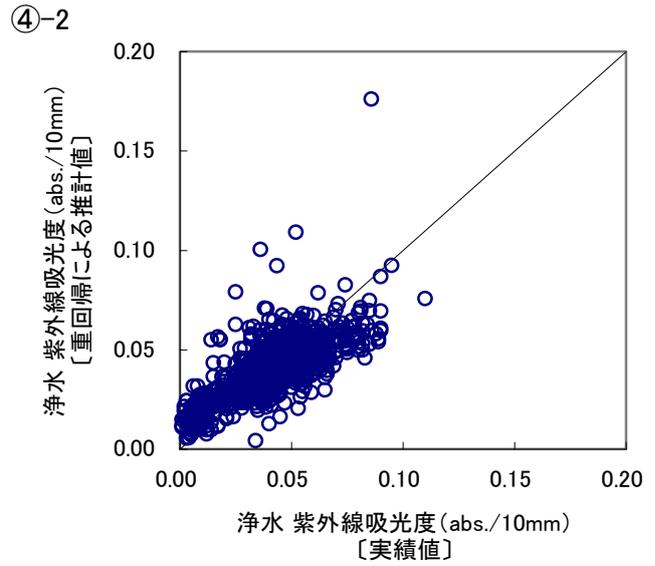
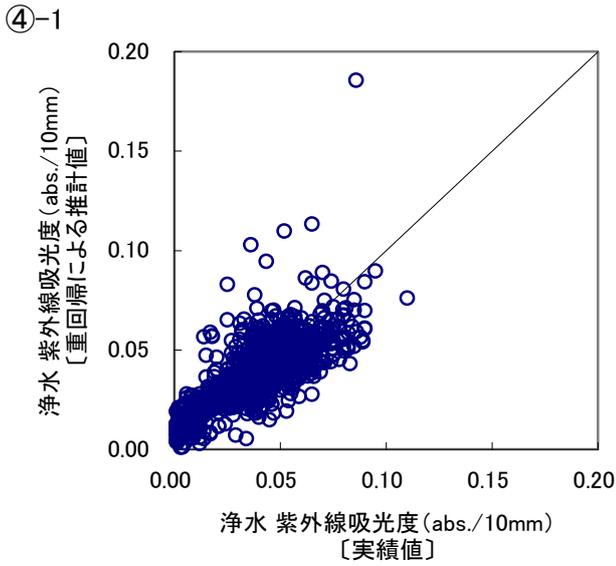


図-3-4-2 浄水紫外線吸光度を目的変数とした重回帰式による推定値と実測値

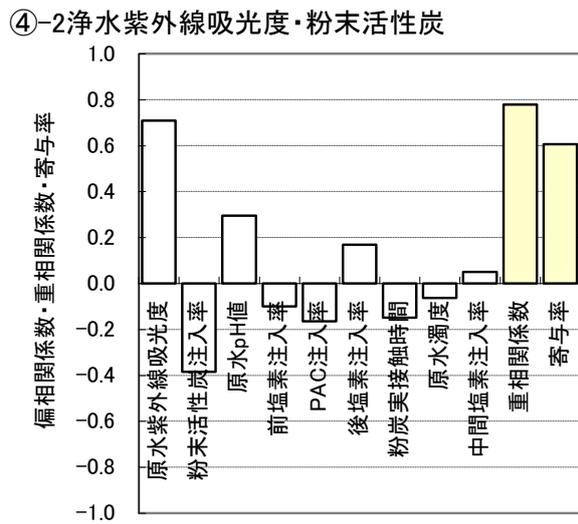
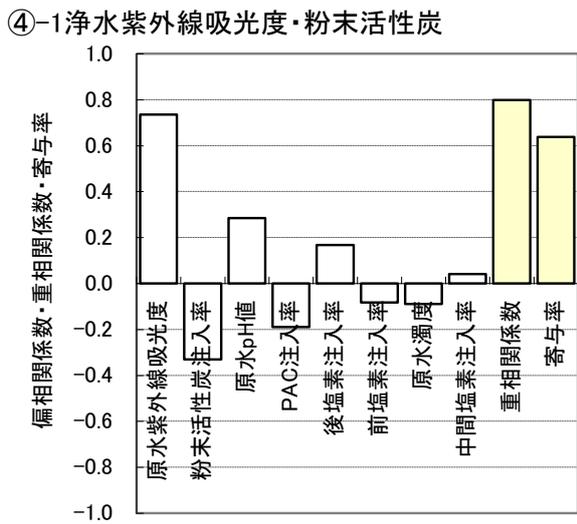


図-3-4-3 浄水紫外線吸光度を目的変数とした偏相関係数・重相関係数・寄与率

② 粒状活性炭処理方式

粒状活性炭処理で重回帰式の適合度が比較的高かった組合せは、浄水の総トリハロメタンを目的変数とする②-1 と②-2、浄水の紫外線吸光度を目的変数とする④-1 と④-2 であり、両者の違いは、説明変数の中に粒状活性炭の通水日数を含むか否かという点である。以下では、水道水質基準が設定されている総トリハロメタンについて、作成された重回帰モデルを表-3-4-7～表-3-4-8、重回帰式による推定値と実測値の散布図を図-3-4-4、説明変数の偏相関係数、重回帰式の重相関係数と寄与率を図-3-4-5 に示し、概要を以下に述べる。

- ・ 重相関係数は 0.7951～0.8032、寄与率は 0.6322～0.6451 であり、重回帰式の適合度は比較的高かった。
- ・ 偏相関係数が大きい説明変数として、塩素注入量や原水水温等、消毒副生成物であるトリハロメタンの生成に関与する項目が挙げられた。
- ・ 運転条件に関する説明変数としては、粒状活性炭実 SV や PAC 注入率が挙げられたが、実 SV については正の相関、また PAC 注入率については②-1 と②-2 で符号が逆転している。また、原水のトリハロメタン生成能の代替指標である原水の紫外線吸光度が②-1 では選択されず、一方、②-2 では負の相関として定式化されるなど、式の適合度は比較的高かったものの、浄水処理の知見を反映する結果は得られなかった。

表-3-4-7 浄水総トリハロメタンを目的変数とした重回帰モデル (②-1)

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果 (mg/L)
浄水総トリハロメタン	mg/L	—	—	y	0.000	0.014	0.065	0.013	—	—
後塩素注入率	mg/L	a1	0.01208	x1	0.0	0.5	2.0	0.5	1 mg/L上昇	0.0121 上昇
原水水温	°C	a2	0.00040	x2	3.3	18.4	30.3	7.0	1 °C上昇	0.0004 上昇
前塩素注入率	mg/L	a3	0.00137	x3	0.0	1.4	10.0	2.0	1 mg/L上昇	0.0014 上昇
中間塩素注入率	mg/L	a4	0.00301	x4	0.0	1.1	3.6	0.6	1 mg/L上昇	0.0030 上昇
粒状活性炭実SV	1/h	a5	0.00008	x5	0.9	4.3	112.1	14.4	1 1/h上昇	0.0001 上昇
PAC注入率	mg/L	a6	0.00006	x6	7.0	38.0	180.0	19.9	10 mg/L上昇	0.0006 上昇
定数項	—	b	-0.00528	—	—	—	—	—	—	—

$$y(\text{浄水紫外線吸光度(}abs./10mm\text{)}) = \sum a_i \times x_i + b \quad (i=1\sim6)$$

表-3-4-8 浄水総トリハロメタンを目的変数とした重回帰モデル (②-2)

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果 (mg/L)
浄水総トリハロメタン	mg/L	—	—	y	0.000	0.008	0.034	0.006	—	—
後塩素注入率	mg/L	a1	0.01007	x1	0.0	0.1	1.1	0.3	1 mg/L上昇	0.0101 上昇
原水水温	°C	a2	0.00047	x2	3.3	18.2	30.3	7.0	1 °C上昇	0.0005 上昇
原水紫外線吸光度	abs./10mm	a3	-0.01255	x3	0.027	0.106	0.817	0.131	0.1 abs./10mm上昇	0.0013 低下
粒状活性炭実SV	1/h	a4	0.00006	x4	0.9	2.8	112.1	17.9	1 1/h上昇	0.0001 上昇
PAC注入率	mg/L	a5	-0.00011	x5	7.0	30.0	86.6	11.3	10 mg/L上昇	0.0011 低下
原水濁度	度	a6	0.00006	x6	0.8	5.9	77.0	11.0	10 度上昇	0.0006 上昇
中間塩素注入率	mg/L	a7	0.00203	x7	0.1	1.0	2.7	0.4	1 mg/L上昇	0.0020 上昇
定数項	—	b	0.00194	—	—	—	—	—	—	—

$$y(\text{浄水紫外線吸光度(}abs./10mm\text{)}) = \sum a_i \times x_i + b \quad (i=1\sim7)$$

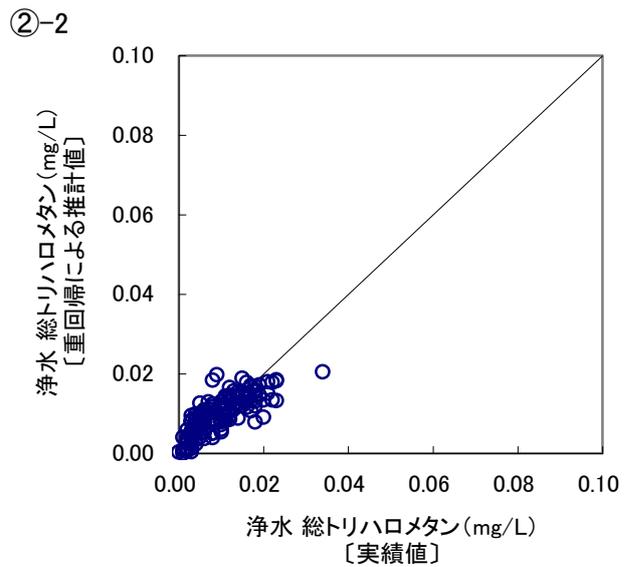
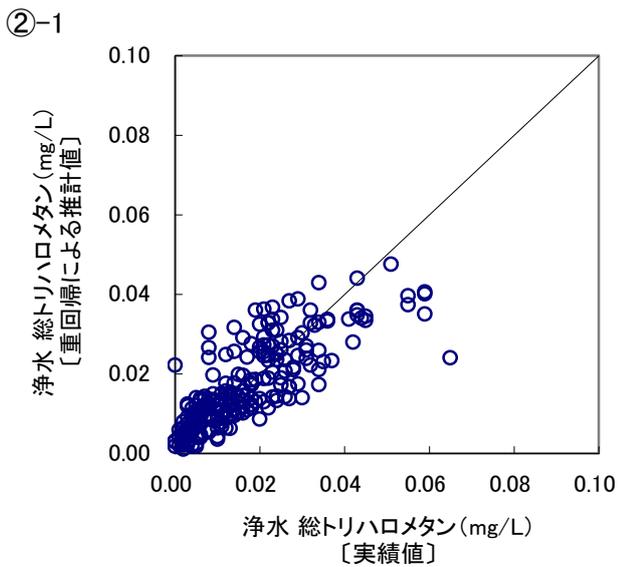


図-3-4-4 浄水総トリハロメタンを目的変数とした重回帰式による推定値と実測値

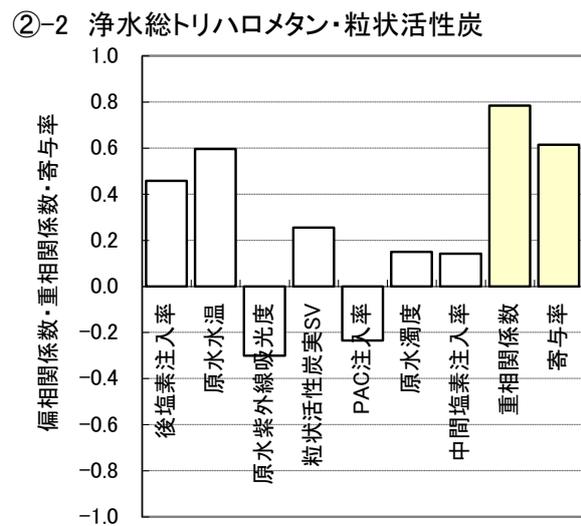
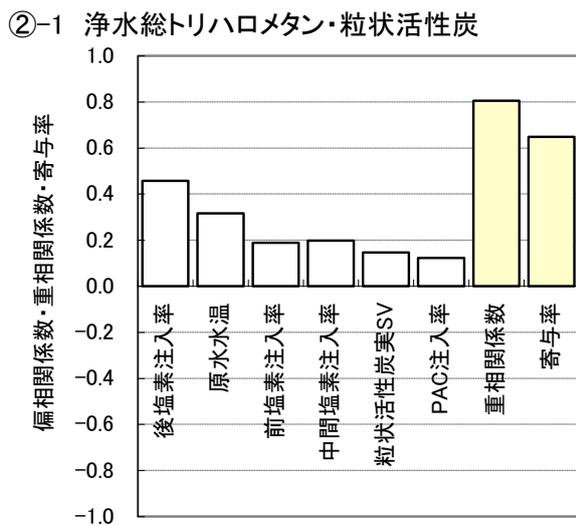


図-3-4-5 浄水総トリハロメタンを目的変数とした偏相関係数・重相関係数・寄与率

③ オゾン処理＋粒状活性炭処理方式

オゾン＋粒状活性炭処理で重回帰式の適合度が比較的高かった組合せは、浄水の総トリハロメタンを目的変数とする②-1 と②-2 であり、両者の違いは、説明変数の中に粒状活性炭の通水日数を含むか否かという点である。作成された重回帰モデルを表-3-4-9～表-3-4-10、重回帰式による推定値と実測値の散布図を図-3-4-6、説明変数の偏相関係数、重回帰式の重相関係数と寄与率を図-3-4-7 に示し、概要を以下に述べる。

- ・ 重相関係数は 0.7399～0.7749、寄与率は 0.5475～0.6004 であり、重回帰式の適合度は比較的高かった。
- ・ 偏相関係数が大きい説明変数として、粒状活性炭の実 SV が挙げられた。SV が小さいほど水と活性炭の接触時間が長くなり、吸着が促進されるため、妥当な結果と判断される。
- ・ その他の運転条件に関する説明変数としては、前塩素、中間塩素、通水日数などで正の相関が得られるなど、浄水処理の知見を反映した結果が得られたが、②-1 において中間塩素注入率で負の相関が見られるなど、必ずしも全ての説明変数において妥当な結果が得られたわけではなかった。

表-3-4-9 浄水総トリハロメタンを目的変数とした重回帰モデル (②-1)

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果 (mg/L)
浄水総トリハロメタン	mg/L	—	—	y	0.000	0.005	0.030	0.006	—	—
粒状活性炭実SV	1/h	a1	-0.00008	x1	2.7	121.3	144.0	52.9	1 1/h上昇	0.0001 低下
オゾン注入率	mg/L	a2	0.00140	x2	0.2	0.8	13.5	2.0	0.1 mg/L上昇	0.0001 上昇
PAC注入率	mg/L	a3	0.00015	x3	0.5	25.5	56.8	11.3	10 mg/L上昇	0.0015 上昇
中間塩素注入率	mg/L	a4	-0.00236	x4	0.0	0.0	5.5	0.9	1 mg/L上昇	0.0024 低下
後塩素注入率	mg/L	a5	0.00025	x5	0.0	1.2	18.7	4.0	1 mg/L上昇	0.0003 上昇
定数項	—	b	0.00857	—	—	—	—	—	—	—

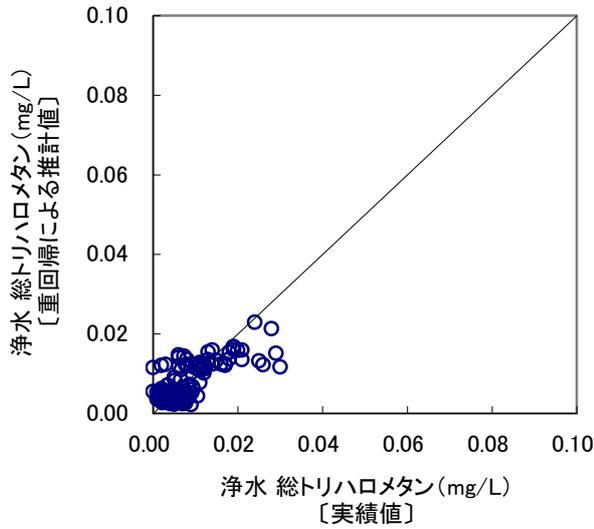
$$y(\text{浄水紫外線吸光度(}abs./10mm\text{)}) = \sum a_i \times x_i + b \quad (i=1\sim5)$$

表-3-4-10 浄水総トリハロメタンを目的変数とした重回帰モデル (②-2)

変数名	単位	記号	偏回帰係数	記号	最小値	中央値	最大値	標準偏差	説明変数の変化	目的変数への効果 (mg/L)
浄水総トリハロメタン	mg/L	—	—	y	0.000	0.006	0.030	0.007	—	—
粒状活性炭実SV	1/h	a1	-0.00009	x1	2.7	119.4	144.0	59.9	1 1/h上昇	0.0001 低下
粒状活性炭通水日数	日	a2	0.00001	x2	3.0	741.0	1225.0	387.6	10 日上昇	0.0001 上昇
原水水温	°C	a3	0.00018	x3	3.2	16.6	28.5	7.3	1 °C上昇	0.0002 上昇
前塩素注入率	mg/L	a4	0.00237	x4	0.0	0.0	2.4	0.6	1 mg/L上昇	0.0024 上昇
PAC注入率	mg/L	a5	0.00013	x5	15.0	21.0	56.8	12.4	10 mg/L上昇	0.0013 上昇
定数項	—	b	0.00372	—	—	—	—	—	—	—

$$y(\text{浄水紫外線吸光度(}abs./10mm\text{)}) = \sum a_i \times x_i + b \quad (i=1\sim5)$$

②-1



②-2

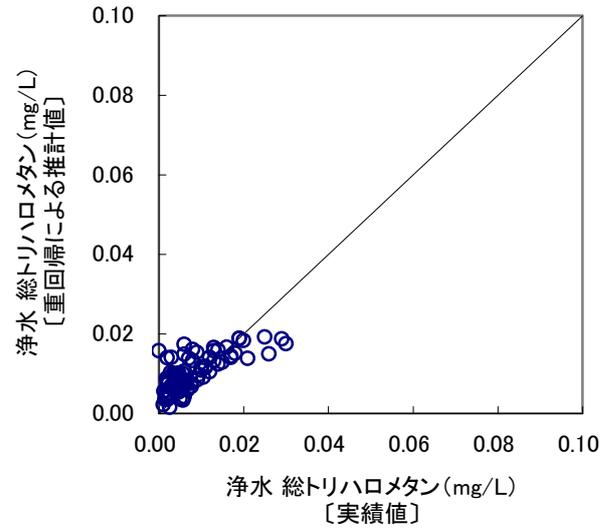
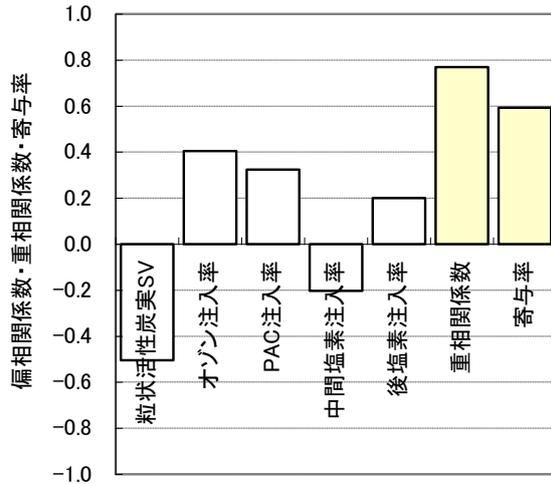


図-3-4-6 浄水総トリハロメタンを目的変数とした重回帰式による推定値と実測値

②-1 浄水総トリハロメタン・粒状活性炭+オゾン



②-2 浄水総トリハロメタン・粒状活性炭+オゾン

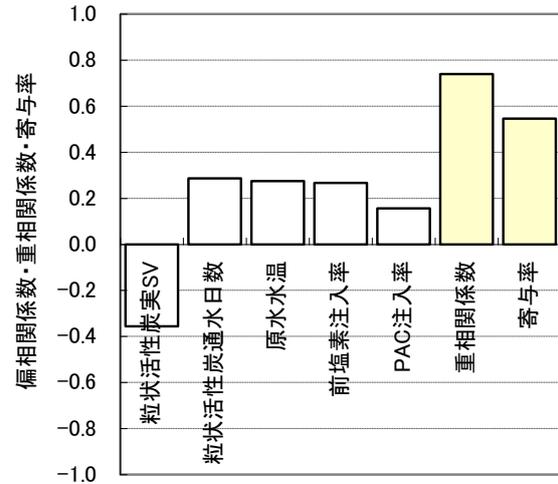


図-3-4-7 浄水総トリハロメタンを目的変数とした重回帰式による推定値と実測値

4) 重回帰分析の活用例

本検討では、アンケートによって得られた高度浄水処理を導入している全国の浄水場のデータを対象として、原水から浄水への水質変化の状態を重回帰式によって定式化することを試みた。検討の結果、必ずしも全ての水質項目と浄水処理方式で適合度の高い重回帰式を得ることは困難であったが、重回帰式の適合度を表す重相関係数、寄与率が高く、かつ、各説明変数の符号が水処理工学の観点から矛盾がないという条件を満たす組合せについては、原水水質の設定値や各種の運転条件を入力し、目標とする浄水水質が得られるか否かを確認する等、高度浄水処理の導入における「浄水処理方式の候補の選定」や「施設諸元候補の選定」を行う際の参考になると考えられる。以下では、比較的適合度の高かった粉末活性炭処理方式における紫外線吸光度を対象として、重回帰分析の活用例を示す。

(1) 活用手順

① 重回帰式の適用可能性の確認

- ・ 重回帰式の適合度を表す重相関係数に着目し、この値が高い重回帰式（目安として 0.7 以上が確保されていることが望ましい）を選択する。
- ・ 各説明変数の符号に着目する。浄水水質を目的変数とする場合、例えば凝集剤、粉末活性炭等の注入によって有機物、かび臭物質等の処理性は向上することから、これらの偏回帰係数の符号はマイナスでなければ、水処理工学の観点から矛盾が生じていることになる。このような観点から、各々の偏回帰係数の符号に着目し、いずれも水処理工学の観点から矛盾がないことを確認する。
- ・ 上記の2点をいずれも満たす重回帰式について、適用可能性があると判断する。

② 原水水質の設定

既往の実績を参考として、表-3-4-5～表-3-4-10 に示した範囲内で原水水質を設定する。なお、安全側を考慮する場合には、既往最大値を採用することが望ましい。

③ 運転条件の設定

既往の実績を参考として、表-3-4-5～表-3-4-10 に示した範囲内で運転条件を設定する。

④ 浄水水質の算出

②と③で設定した原水水質と運転条件を次式に代入し、浄水の紫外線吸光度を算出する。

浄水紫外線吸光度

$$\begin{aligned} &= 0.18755 \times \text{原水紫外線吸光度} - 0.00061 \times \text{粉末活性炭注入率} + 0.01219 \times \text{原水 pH 値} \\ &\quad - 0.00014 \times \text{PAC 注入率} + 0.00875 \times \text{後塩素注入率} - 0.00116 \times \text{前塩素注入率} \\ &\quad - 0.00006 \times \text{原水濁度} + 0.00103 \times \text{中間塩素注入率} - 0.07191 \end{aligned}$$

(粉末活性炭処理方式 (④-1) の場合)

⑤ 算出結果の評価

④で算出した浄水の紫外線吸光度について、独自に定める管理目標値を満たすか否かを確認する。

(2) 具体例

上記(1)に示した活用手順について、重回帰式の適合度を表す重相関係数、寄与率が高く、かつ、各説明変数の符号が水処理工学の観点から矛盾がないという条件を満たす結果が得られた粉末活性炭処理方式の④-1式を用いて具体例を示す。

① 重回帰式の適用可能性の確認

- ・粉末活性炭処理方式の④-1式について、重相関係数は0.7985であり、重回帰式としての適合性は高いと判断された。
- ・各々の偏回帰係数に着目したところ、原水紫外線吸光度、原水pH値でプラス、粉末活性炭、PAC注入率でマイナスの符号となっており、水処理工学の観点から矛盾がないと判断された。

② 原水水質の設定

表-3-4-5に示した範囲内で、原水水質を以下のとおり設定する。

原水水質（紫外線吸光度）	: 0.1 abs./10mm
原水水質（pH値）	: 7.5
原水水質（濁度）	: 10度

③ 運転条件の設定

表-3-4-5に示した範囲内で、運転条件を以下のとおり設定する。

運転条件（粉末活性炭注入率）	: 5 mg/L
運転条件（PAC注入率）	: 30 mg/L
運転条件（前塩素注入率）	: 0.5 mg/L
運転条件（中間塩素注入率）	: 1.0 mg/L
運転条件（後塩素注入率）	: 0.2 mg/L

④ 浄水水質の算出

②と③で設定した原水水質と運転条件を次式に代入し、浄水の紫外線吸光度を算出した結果、以下の値を得た。

0.033 abs./10mm

⑤ 算出結果の評価

④で算出した浄水の紫外線吸光度は、独自に定める管理目標値（0.030 abs./10mm）を満たさないことから、粉末活性炭注入率を11 mg/Lにすると、浄水の紫外線吸光度は0.029 abs./10mmとなり、管理目標値を満たす可能性があるかと推定された。

(3) 留意点

ここでは、粉末活性炭処理、粒状活性炭処理、オゾン処理＋粒状活性炭処理の3方式を対象として重回帰分析を行い、原水水質、浄水水質、施設諸元、運転条件の間の関連性について検討を行った。検討の結果、「粉末活性炭処理における紫外線吸光度」については重回帰式の適合性が高く、また、説明変数の符号が浄水処理技術の知見が比較的良好に反映されたことから、高度浄水処理の導入における「浄水処理方式の候補の選定」や「施設諸元候補の選定」を行う際の参考になると考えられる。但し、この方法を活用する際には、以下の点に留意する必要がある。

- ・ 粉末活性炭における紫外線吸光度については、重回帰式の適合性や説明変数の符号について、浄水処理技術の知見を比較的良好に反映する結果が得られたが、表-3-4-5に示すように、例えば原水の紫外線吸光度が0.003～0.937 abs./10mm、粉末活性炭注入率が0～120 mg/Lの範囲でのみ適用することが可能である。
- ・ この方法は浄水処理の理論ではなく統計解析の結果に基づいている。
- ・ データの制約の関係から式の作成に利用した浄水場に限られるため、必ずしも全国の実態が反映されていない。
- ・ 粒状活性炭処理方式とオゾン処理＋粒状活性炭処理方式について、重回帰式の適合度は比較的高かったものの、説明変数の中に原水のトリハロメタン生成能を表す指標が選択されなかったことや、必ずしも全ての説明変数の符号が浄水処理技術の知見を反映していないことなど、活用することは適当でないと判断された。

今回の検討では、高度浄水処理を導入している浄水場を対象として、原水水質、運転条件、浄水水質の実績データに重回帰分析を行ったが、多くの水質項目において十分な適合度を得ることができなかった。今後、さらに蓄積されるデータを生かして適合度の向上を図ることが望まれるが、その際には、下記の点に留意することが望ましい。

- ・ 重回帰分析は変数間の線形性を仮定した上で作成されるが、原水水質、浄水水質、運転条件の間には非線形の関係があることから、非線形を考慮した定式化を行うことで、式の適合性が改善することが期待される。
- ・ 今回の検討では、同一の浄水処理方式の浄水場を一括して重回帰分析を行ったが、例えば原水水質が類似している浄水場のみに限定して分析を行うことにより、式の適合性が改善することが期待される。