

(4) 金属

金属の分析結果を図 17～図 19 に示す。沈澱処理水、直接ろ過水あるいは砂ろ過水に関して両系列を比較すると、アルミニウムは F 系に比べて A 系の方が高く、鉄は A 系に比べて F 系の方が高いことがわかる。これは、使用している凝集剤による影響が現れているものと思われる。

凝集剤注入率を低減してからは A 系の砂ろ過水はアルミニウムが基準値 (0.2mg/L 以下) 近くに達する時があり、F 系の砂ろ過水は鉄が基準値 (0.3mg/L 以下) を超過する時があった。一方、膜ろ過水はどの系列も鉄は定量下限値未満であるのに対して、アルミニウムは A 系において検出された。アルミニウムが A 系の膜ろ過水に検出された原因としては凝集剤由来の溶解性アルミニウムによるものと考えられた。

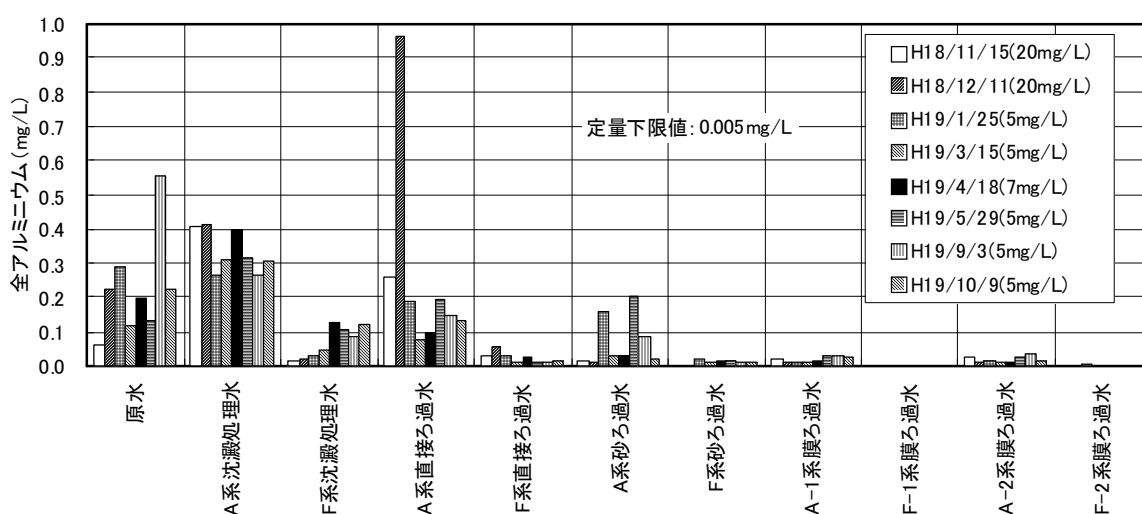


図 17 全アルミニウム

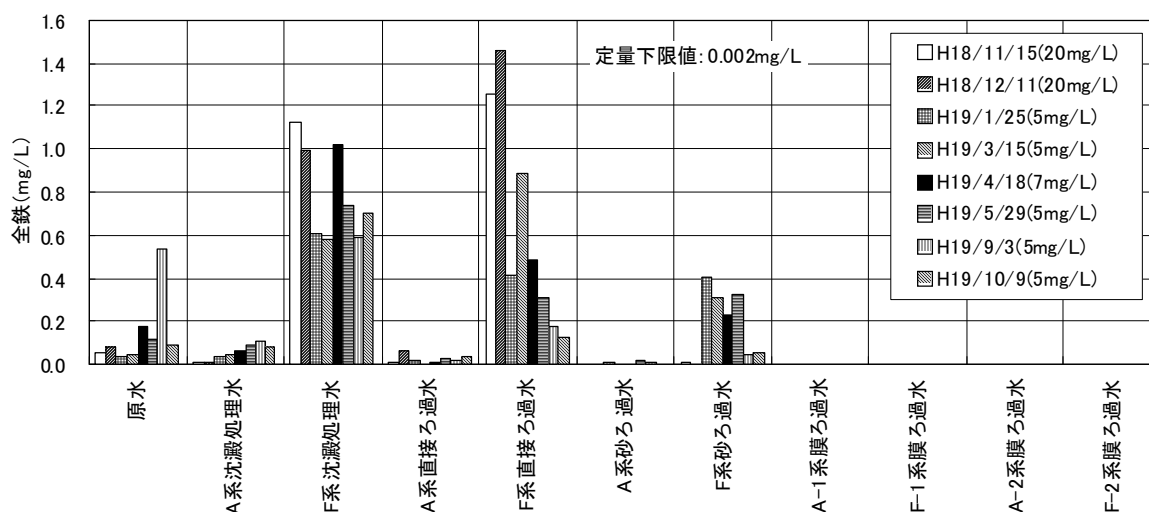


図 18 全鉄

また、マンガンは原水中に通常 0.01mg/L 弱含まれているが、平成 19 年 9 月 3 日において鉄やアルミニウムと同様に通常よりも高い値を示した。しかし、最終処理水である砂ろ過水あるいは膜ろ過水は 0.01mg/L 以下とマンガンの基準値 (0.05mg/L 以下) を満足した。

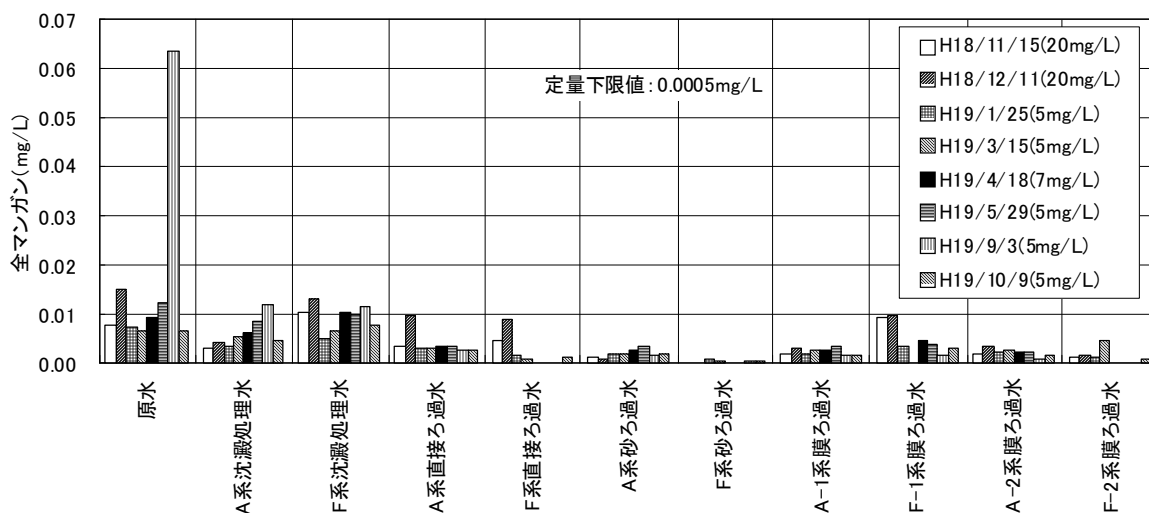


図 19 全マンガン

(5) 排水処理試験

排水処理試験の結果を表 13 に示す。試験は沈降濃縮試験および短時間型加圧脱水試験を実施した。なお、試験に供した凝集沈澱池汚泥は A 系、F 系ともに凝集剤注入率を 20mg/L としたときに採取した。

表 13 排水処理試験結果 (A 系の値を基準とした時の F 系の値の比)

測定日	各実験時期での F 系の比					注) 設計 設備 規模比
	H18	H18	H19	H19	H19	
	11/14	12/26	6/22	8/31	11/16	
発生固形物重量比	1.16	1.21	1.22	1.15	1.16	—
濃縮槽必要表面積比	0.65	0.59	0.78	1.01	0.93	0.93
脱水機必要ろ布面積比	0.76	0.77	1.13	1.15	0.85	0.77

注) 全 5 回の実験で最大となる必要面積(絶対値)での比を示した。

4. 2. 3 合同実験のまとめ

- ・前 e-Water で示された前処理の有効性は、本 e-Water II においても実証され、実用化に向けてた、長期間にわたる膜の安定した運転が可能であることが示された。
- ・浄水システム選定手法の構築における濁質のレベル 2 の設定根拠として実験データから 0.01 度以下、また、凝集+膜ろ過システムの原水濁度条件を 15 度以下とした。
- ・適正な凝集条件を整えることで、沈澱も直接ろ過も前処理として利用できるが、凝集剤低減の観点から、直接ろ過は有効な方法であることが確認された。
- ・アルミ系凝集剤と鉄系凝集剤については、両者とも利用できるものであったが、鉄系凝集剤の方が、補正流束の低下量が少ない傾向が見られた。また、排水処理においては、鉄系の発生固形物量が増えるものの、排水処理施設規模では小さくなる傾向にあった。

5. 研究成果のまとめと課題

浄水システム委員会では「水質に応じた浄水処理方式の構築と評価に関する研究」を課題として掲げ、原水レベルと目標水質レベルに応じた浄水システム選定手法の構築と、前処理と組み合わせた膜ろ過の実証実験、今後活用が期待される新しい処理についての文献調査を行った。これらは現時点における総合的な浄水処理のデータベースとして位置づけられるものと考えている。本研究では“Evidenced Based”という言葉キーワードに、従来、暗黙知として一定の認識はされている技術を、データに基づき形式知として誰にでもわかる形で示すことを基本コンセプトとして、成果をまとめた。

「水質に応じた浄水システムの選定手法の構築」では実際の浄水場の運転データを元に、プロセス、システムの評価を行い選定手法を構築した。既存システムのデータ収集では不十分なものについては、合同実験、文献調査により補足した。処理システム選定手法の構築では、具体的には、1) 目標水質レベルの設定、2) 浄水処理機能の評価、3) 浄水処理システム選定手法の開発、の3つの作業を行った。

目標水質レベルの設定では、レベル1、レベル2の二つのレベルを設定し、レベル1は「浄水場で適切に水質管理がなされていれば達成可能な値」として我が国の水道のレベルでは十分達成できる基本レベルとして設定した。レベル2は「将来的に目指すべき目標値」として、東京都水道局や千葉県水道局で掲げている「おいしい水」に関する目標値を参考に、より安全でおいしい水という観点から設定した。

浄水処理機能の評価では、処理システムをパターン化して整理し、浄水フローごとに原水水質、浄水水質から解析を行った。さらに浄水システム解析のデータを補完するために、処理の単位プロセスのデータの解析も行った。

これらの目標水質の設定、原水水質レベルと処理システム（プロセス）の対応から、濁度、TOC、かび臭、トリハロメタンについて除去プロセス群選定表を作成し、原水水質、目標水質から基本浄水システムが選定できる手法を確立した。さらに除マンガン、酸注入、生物処理、除鉄設備の必要性の有無を判定し、最終的に必要とされる設備をすべて網羅することができるようになっている。加えてコスト、スペース、維持管理性、LCAの情報についても提示し、システム選定の際に総合的な判断ができるようにしている。

合同実験では膜ろ過を組み込んだ浄水システムのデータを、システム選定のためのデータとして活用し、かつ、処理水質の高度化、残留凝集剤制御のための鉄系凝集剤の利用、凝集剤使用量そのものの低減化について検討した。鉄系凝集剤は従来のPACと比較して同等以上の性能を示し、汚泥処理設備等の面ではPACより有利であることが示された。また、前処理を組み合わせることにより、凝集剤の低減化が図れ、膜の運転が容易になり安定した運転ができることが示された。

このほか、現状で本研究のコンセプトに基づき、我が国において導入できるだけのデータがない処理プロセスで、海外では実績があり今後のシステムへの導入を考慮しておくべきプロセスとして、ナノろ過と促進酸化処理をあげ、文献調査によりその処理性についてまとめた。

システム選定方式の課題については、基本的にはシステムの性能評価を操作条件等と連

動したものとすること、データの蓄積を増やすことにあると考えている。本研究で提示した基本方針が合意されるものであるならば、これにより、精度の高い処理システムの選定方式としていくことが可能となる。

膜ろ過と既存処理プロセスの組み合わせについては、膜ろ過への前処理の有効性については示されているが、実施設の計画にあたっては、どの膜と、どんな前処理を組み合わせるかによって、それぞれのプロセス（前処理、膜ろ過）の最適条件を知ることが課題として残っている。

基本コンセプトとして示したとおり、本研究で提案した適切な浄水処理システムの選定手法は従来経験的にある程度理解されていたものを、実際のデータに基づいて、数値化して示したところに大きな特徴がある。最終的には水質だけでなく、事業者ごとに制約条件を考慮した総合的な判断が必要であるが、判断材料を数値化して比較できるということは、説明責任を果たす意味においても意義が大きいと考えている。今後この手法を水道事業者等で実際に使用していただき、問題点を改良しさらに充実した手法として発展することを期待する。

また、既存施設を活用した膜ろ過の導入に関する研究は、今後更新が増えると考えられる地表水系の原水を使用する、中・大規模浄水場を想定したものであり、既存施設の活用によるコスト削減と、膜ろ過を導入することによる、前処理を含めた維持管理の容易さが特徴となると考えている。将来的な水質基準の強化、人材不足などにも対応可能な方式として、今後導入が進むことを期待したい。

機能評価委員会の活動報告

機能評価委員会 委員長
国立大学法人北海道大学 大学院工学研究科
教授 松井 佳彦

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多くの浄水施設が老朽化してきており、今後 10 年以内に相当数が更新の時期を迎える。また、人口の減少や定年退職により水道技術者が減少しており、将来に渡って安全な水道水を安定して供給するためには浄水施設更新のあり方について十分検討する必要がある。浄水施設の更新に際しては、日本の水道原水が非常に多様であるということも十分留意する必要がある。多様な原水に対し、従来の基本技術から膜ろ過を始めとした新しい技術など浄水プロセスの選択肢は非常に幅広くなっており、適切な施設更新計画を策定することが重要となっている。

そこで機能評価委員会では、既存浄水場の処理機能に関して幅広い調査を実施し、それぞれの浄水プロセスの機能を評価することによって、最適浄水システムを選定するための指標となる資料を作成することを目指して研究に着手した。

2. 機能評価委員会の研究概要

2. 1 研究課題および研究目的

(1) 研究課題

浄水処理技術の機能評価に関する研究

(2) 研究目的

「安全でおいしい水を目指した高度な浄水処理技術の確立に関する研究」の一つの委員会である本委員会は、浄水プロセスごとに水質の面から評価を行い、浄水処理技術の確立を図ることを目的とする。

2. 2 研究概要

(1) 浄水プロセスの機能評価

水道事業体より提供頂いた水質・施設設計諸元・運転条件等の様々なデータを用いて、データの多変量解析の 1 つである重回帰分析の手法により、各浄水プロセスの処理性能を定量的に評価することを試みた。

図 2-1 に示す様に、目的変数を浄水水質及び各プロセスの出口水質、説明変数を水質、施設設計諸元、運転条件等とする重回帰分析を実施し、抽出された説明変数について偏相関係数、標準偏回帰係数等により浄水処理への影響が強い因子を考察した。ここで、色度のように浄水場によっては浄水水質がほぼ 0 になってしまう水質項目については、原水水質（除去量とほぼ等しい）を目的変数として分析した。本分析より提示される重回帰モデル式を用いて、浄水施設の処理限界（許容原水濃度等）を試算・評価した。

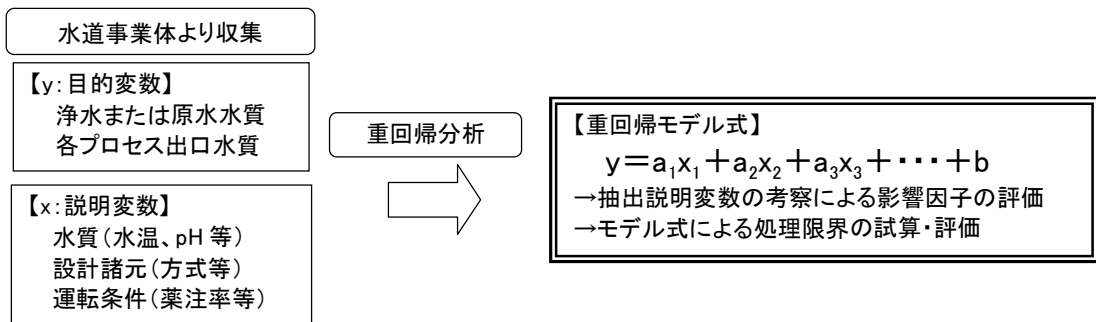


図 2-1 重回帰分析による機能評価手法

解析は対象水質項目とデータの種別に応じて以下に示す内容を実施した。

①水質項目別性能評価

各浄水プロセスの設計諸元、運転条件等のデータを用いて、濁度、色度、過マンガン酸カリウム消費量の除去性能を評価した。

②濁質除去性能評価

個別浄水場の沈澱池およびろ過池における濁質除去性能を評価した。

③臭気除去性能評価

粉末活性炭処理におけるジェオスミン、2-MIB の除去性能を評価した。その他の処理方式（生物処理、粒状活性炭処理、オゾン処理）については重回帰分析では無く定性的に除去量と影響因子の関係を調査した。

(2) その他

研究を進めていく中で、直接的に浄水機能を評価したものではないが、浄水場の設計・維持管理に参考となるような情報、知見を収集した。これらを整理して示すこととした。

①ヒアリング調査

水道事業者へアンケート・ヒアリング調査を実施し、水質・施設設計・運転条件等の浄水プロセスの機能評価に必要なデータを収集した。収集したデータの内、運転管理基準値、維持管理人数といった浄水場の運転状況、管理状況に関する知見を整理してとりまとめた。

②設計指針値と実績値の比較

アンケート・ヒアリング調査を実施した浄水場において、水道施設設計指針に示されている接触時間（粉末活性炭接触、オゾン接触）・ろ過速度（急速ろ過・緩速ろ過）・滞留時間（混和池、フロック形成池）等の設計基準値と実運転値を比較して示した。

③全国水道研究発表会講演集の調査

浄水処理の機能評価に関連する文献を調査するため、過去 10 年間（平成 9 年～平成 18 年）の全国水道研究会講演集から文献を抽出し、処理プロセス毎（粉末活性炭処理、生物処理等）に整理した。

3. 研究報告

3. 1 水質項目別性能評価

各処理プロセスの設計諸元（形式や滞留時間等）や運転条件（薬品注入率等）が濁度、色度、過マンガン酸カリウム消費量の処理性に与える影響を解析するために、各水質項目を目的変数とする重回帰分析を行った。

3. 1. 1 解析対象データ

解析対象データの概要を表 3-1-1 に示す。原水水質および浄水水質については水道統計より平成 14～16 年度における年平均値の 3 ヶ年平均とし、沈澱池出口水質およびろ過池出口水質については事業者から収集したデータ（1 年間分）の平均値を用いた。濁度および色度では、ほとんどの浄水場で浄水水質が 0 もしくは定量限界値以下であることから原水水質を目的変数とした。

収集した説明変数 97 項目の内、データ数が少ない項目、有意性が少ない項目等は削除し、各目的変数に対して 10～20 項目に絞った後に重回帰分析を実施した。

表 3-1-1 解析対象データ概要

浄水場数	目的変数	説明変数	解析データ数
115 浄水場 (37 事業者、165 系列)	濁度 ・原水 ・沈澱池出口 ・ろ過池出口 (年平均データ)	処理水量 稼働率 原水水質 (pH、水温等)	各水質 約 16,000 点
	色度 ・原水 ・沈澱池出口 ・ろ過池出口 (年平均データ)	設計諸元 (沈澱池形式・傾斜板有無等) 運転データ (PAC 注入率、粉炭注入率、粉炭実接触時間、 混和池実滞留時間、ろ過池実ろ過速度等)	
	KMnO ₄ 消費量 ・浄水 (年平均データ)	全 97 項目 (年平均データ)	

3. 1. 2 処理性影響因子の評価

(1) 濁度

原水濁度、沈澱池出口濁度、ろ過池出口濁度を目的変数として重回帰分析を実施した結果（偏相関係数上位 5 位）を図 3-1-1 に示す。

①原水濁度について

- ・「中 PAC の有無」「凝集剤平均注入率」「混和池実滞留時間」が原水濁度と正の相関を示しており、この結果から、原水濁度が高い浄水場では、凝集剤の注入率を大きく、混和池の滞留時間を長くし、中 PAC を注入する、つまり、しっかりとした凝集処理を行って対応しているという傾向がうかがえる。

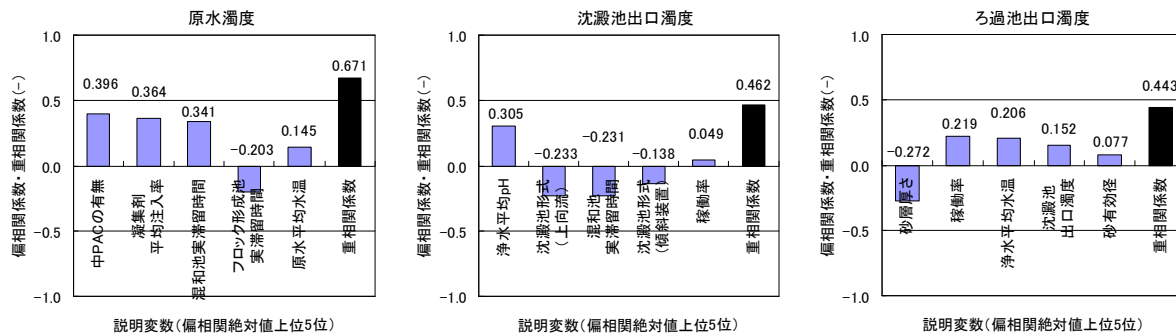


図 3-1-1 原水濁度、沈澱池出口濁度、ろ過池出口濁度に関する抽出説明変数

②沈澱池出口濁度について

- ・「浄水平均 pH」が正の相関を示しており、pH が高いと沈澱池出口濁度が上昇する、つまり処理性が低下することを示している。凝集沈澱処理において凝集 pH の制御は重要であるといえる。
- ・「混和池実滞留時間」「沈澱池形式（傾斜装置）」は負の相関を示しており、沈澱池出口濁度を低減するには、混和池の滞留時間を長くし、傾斜装置を備えることが有効であることを示している。

③ろ過池出口濁度について

- ・「沈澱池出口濁度」「稼働率」が正の相関を示しており、沈澱池出口濁度が高く、また施設の稼働率が高いと、ろ過池出口濁度が上昇する、つまり処理性が低下することを示している。

(2) 色度

原水色度、沈澱池出口色度、ろ過池出口色度を目的変数とした重回帰分析の結果（偏相関係数上位 5 位）を図 3-1-2 に示す。

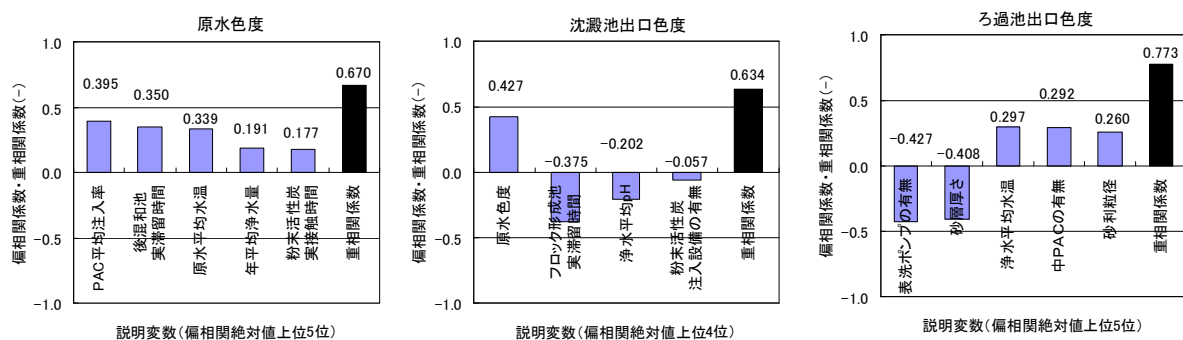


図 3-1-2 原水色度、沈澱池出口色度、ろ過池出口色度に関する抽出説明変数

①原水色度について

- ・「PAC 平均注入率」「原水平均水温」「年平均浄水量」等が正の相関を示しており、この結果から、原水色度が高い浄水場では、水温が高く、浄水量が大きい傾向があり、PAC 注入率の高い処理を行っていることがうかがわれる。

②沈澱池出口色度について

- ・「フロック形成池実滞留時間」は負の相関を示しており、このことは、沈澱池出口色度を低減するには、フロック形成池の滞留時間を確保することが有効であると示している。

③ろ過池出口色度について

- ・「浄水平均水温」が正の相関を示しており、このことは、水温が高い場合、ろ過池出口色度が上昇する、つまり処理性が低下するという傾向を示している。

(3) 過マンガン酸カリウム消費量

浄水の過マンガン酸カリウム消費量を目的変数として重回帰分析を実施した結果（偏相関係数上位5位）を図3-1-3に示す。

①浄水の過マンガン酸カリウム消費量について

- ・「フロック形成池実滞留時間」は負の相関を示しており、この結果からは、浄水の過マンガン酸カリウム消費量を低減するには、フロック形成池での滞留時間を確保すればよいことがうかがえる。
- ・「原水平均 KMnO_4 消費量」「原水平均 pH」は正の相関を示しており、このことは、原水の過マンガン酸カリウム消費量が高い場合、また原水平均 pH が高い場合には浄水濃度が高くなる、つまり処理性が低下するという傾向を示している。

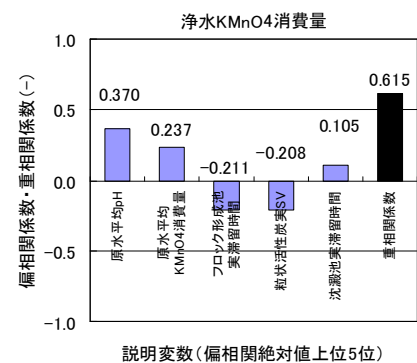


図 3-1-3 浄水の KMnO_4 消費量に関する抽出説明変数

3. 1. 3 重回帰モデル式による試算例

重回帰分析の結果から、下記のような重回帰モデル式を得ることができる。

$$\blacksquare \text{ 重回帰モデル式 : } y = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + b$$

ここで、

y : 目的変数（原水水質、浄水水質、プロセス出口水質）

x : 説明変数（水質、施設設計諸元、運転条件等）

a : 偏回帰係数

b : 定数項

説明変数のうち、任意の説明変数1つを可変させ、残りをある一定値にすると、モデル式から一次関数を得ることができる。モデル式を用いた許容原水濃度等の算出例を示す。

なお、留意すべき事項として、算出結果は理論的に導き出されたものではなく統計解析の結果であるため、得られる許容年平均濃度は、経験や実績から既知となっている値とは異なる場合もあり得るといえる。

(1) 濁度

原水濁度を目的変数としたモデル式を用いて、凝集剤平均注入率と原水年平均濁度の関係を求めた（図 3-1-4、図 3-1-5）。

図 3-1-4、図 3-1-5 より、水温が低いほど処理性が低下し、凝集剤注入率を増加する必要があること、また、中 PAC の注入を行えば、許容できる年平均濁度が 3～4 度程度高くなることとがわかる。

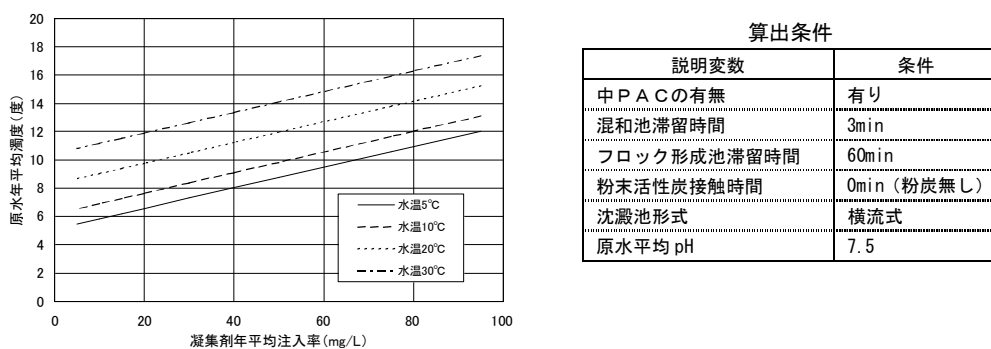


図 3-1-4 原水年平均濁度と凝集剤年平均注入率の関係（中 PAC 有り）

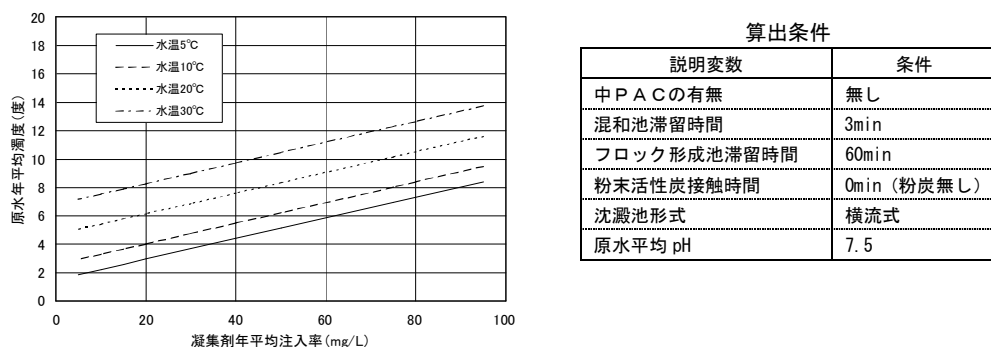
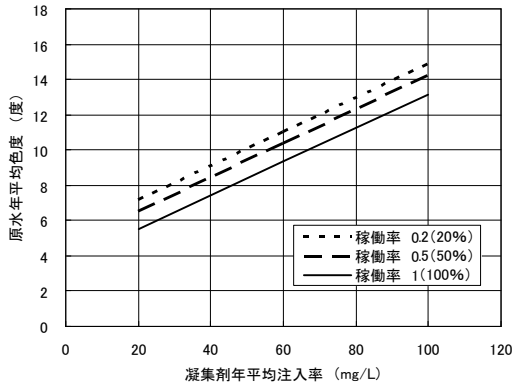


図 3-1-5 原水年平均濁度と凝集剤年平均注入率の関係（中 PAC 無し）

(2) 色度

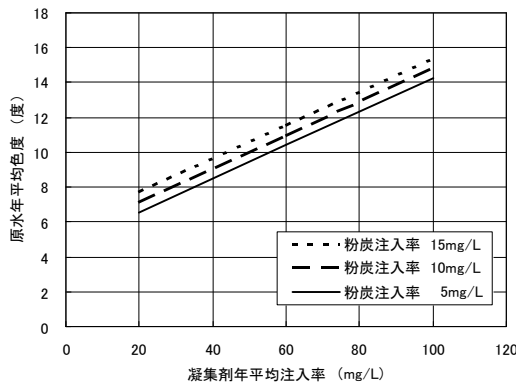
原水色度を目的変数としたモデル式を用いて、凝集剤年平均注入率と原水年平均色度の関係を求めた（図 3-1-6、図 3-1-7）。

図 3-1-6、図 3-1-7 より、凝集剤年平均注入率が高いほど、許容できる年平均色度は大きくなること、また、稼働率が大きいほど、許容できる年平均色度が小さくなることとがわかる。算出条件下で凝集剤年平均注入率が 50mg/L、粉炭注入率が 5～15mg/L のとき、許容できる年平均色度は 10 度程度となることが読み取れる。



説明変数	条件
年平均浄水量	60,000m ³ /日
粉末活性炭接触時間	1hr
粉末活性炭注入率	5mg/L
混和池実滞留時間	1min
後混和池実滞留時間	0min(設備なし)
原水平均水温	15°C

図 3-1-6 原水年平均色度と凝集剤年平均注入率との関係（稼働率ごと）



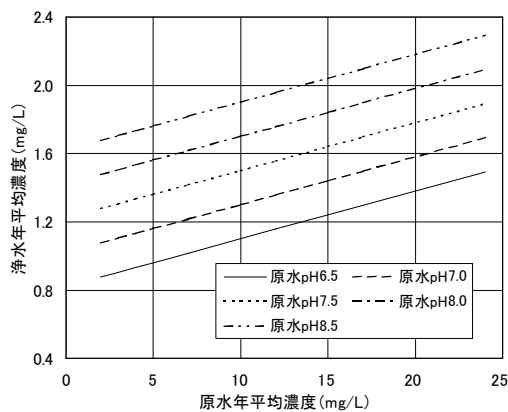
説明変数	条件
年平均浄水量	60,000m ³ /日
稼働率	0.5
粉末活性炭接触時間	1hr
混和池実滞留時間	1min
後混和池実滞留時間	0min(設備なし)
原水平均水温	15°C

図 3-1-7 原水年平均色度と凝集剤年平均注入率との関係（粉炭注入率ごと）

(3) 過マンガン酸カリウム消費量

浄水の KMnO_4 消費量を目的変数としたモデル式を用いて、浄水年平均濃度と原水年平均濃度の関係を求めた（図 3-1-8）。

図 3-1-8 より、原水の KMnO_4 消費量が同じ場合でも、原水 pH が 1 高ければ浄水の KMnO_4 消費量が 0.4mg/L 程度上昇することがわかる。



説明変数	条件
フロック形成池滞留時間	60min
粒状活性炭空間速度	0h ⁻¹ (粒状炭無し)
沈澱池滞留時間	2hr
粉末活性炭 C T 値	2.5 (mg/L) · hr
沈澱池形式	横流式
稼働率	0.6 (60%)

図 3-1-8 KMnO_4 消費量の浄水年平均濃度と原水年平均濃度の関係

3. 2 濁質除去性能評価

急速ろ過方式における濁質除去性能を定量的に評価するために、時間毎水質データを用いて、浄水場毎に、沈澱池出口およびろ過池出口濁度を目的変数とする重回帰分析を実施した。

3. 2. 1 解析対象データ

調査対象としたA～Pで示す16箇所の浄水場について時間データを収集した。主な説明変数の最高値、平均値を表3-2-1に示す。データ数nは1年間で8,760点となるが(24h×365day)、データの欠落等により表記したデータ数となっている。

表 3-2-1 主な説明変数項目の基本諸元 (2005 年度データ)

浄水場	原水濁度(度)			原水水温(°C)			原水 pH(-)			PAC 注入率(mg/L)			pH コントロール	
	最高	平均	n	最高	平均	n	最高	平均	n	最高	平均	n	酸	アルカリ
A	39.4	7.8	6,465	22.9	15.9	6,465	8.99	8	6,465	40	24.4	6,465	あり	—
B	338.1	14.3	8,608	30.3	15.6	8,608	8.79	7.42	8,608	67	22.7	8,608	あり	あり
C	323.2	10.5	6,332	28.2	14.7	6,332	9.26	7.65	6,332	152.2	45.4	6,332	—	あり
D	475.8	13.3	8,620	31.7	17.1	8,620	8.91	7.79	8,620	240	76.7	8,620	—	あり
E	383	14.4	6,118	28.7	15.2	6,118	9.4	7.77	6,118	1976	77	6,118	—	あり
F	48.8	5.1	8,390	30.2	17.7	8,390	8.71	7.57	8,390	70.8	30.9	8,390	あり	—
G	188	13.1	4,897	29.9	19.5	4,897	—	—	—	58.7	20.6	4,897	あり	あり
H	103	5.4	8,760	31.6	18	8,760	7.95	7.11	8,760	72.7	42.7	8,760	—	—
I	100	13.7	8,743	30.3	16.8	8,743	8.09	7.5	8,743	137.6	61.1	8,743	あり	—
J	180	8.3	8,760	21.5	12.3	8,760	—	—	—	55.7	23.6	8,760	—	—
K	305	12.8	8,539	30.7	12	8,539	9.12	7.31	8,539	144.7	29.8	8,539	—	あり
L	500	12.1	8,447	30.4	19	8,447	8.76	7.53	8,447	99.9	33.9	8,447	あり	あり
M	155.3	4.1	6,524	19.7	9.9	6,524	9.39	6.71	6,524	96	24	6,524	—	あり
N	100	2.2	8,754	25.2	15.4	8,754	8.53	7.05	8,754	27	15.1	8,754	—	あり
O	47	5.0	4,652	26.3	17.5	4,652	9	7.77	4,652	40.8	18.9	4,652	あり	—
P	102.6	13.0	8,541	31.8	18.7	8,541	8.45	7.11	8,541	142	50.1	8,541	—	あり

n : データ数

3. 2. 2 処理性影響因子の評価

沈澱池出口濁度およびろ過池出口濁度を目的変数とした重回帰分析の結果、説明変数として抽出された項目とその標準偏回帰係数を図 3-2-1 に示す。

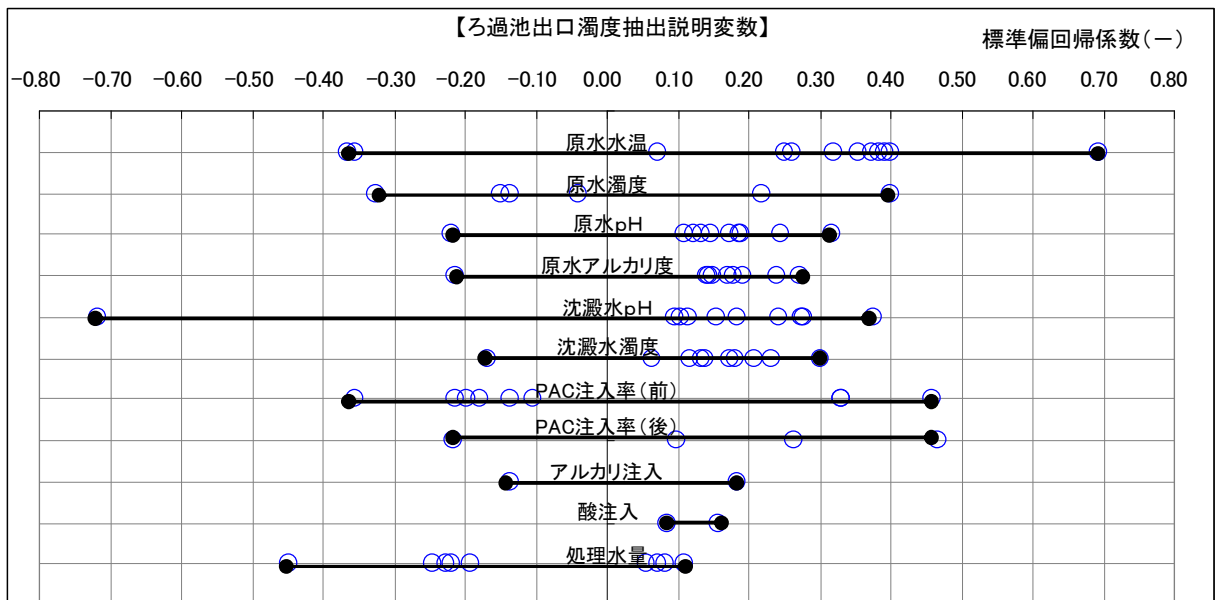
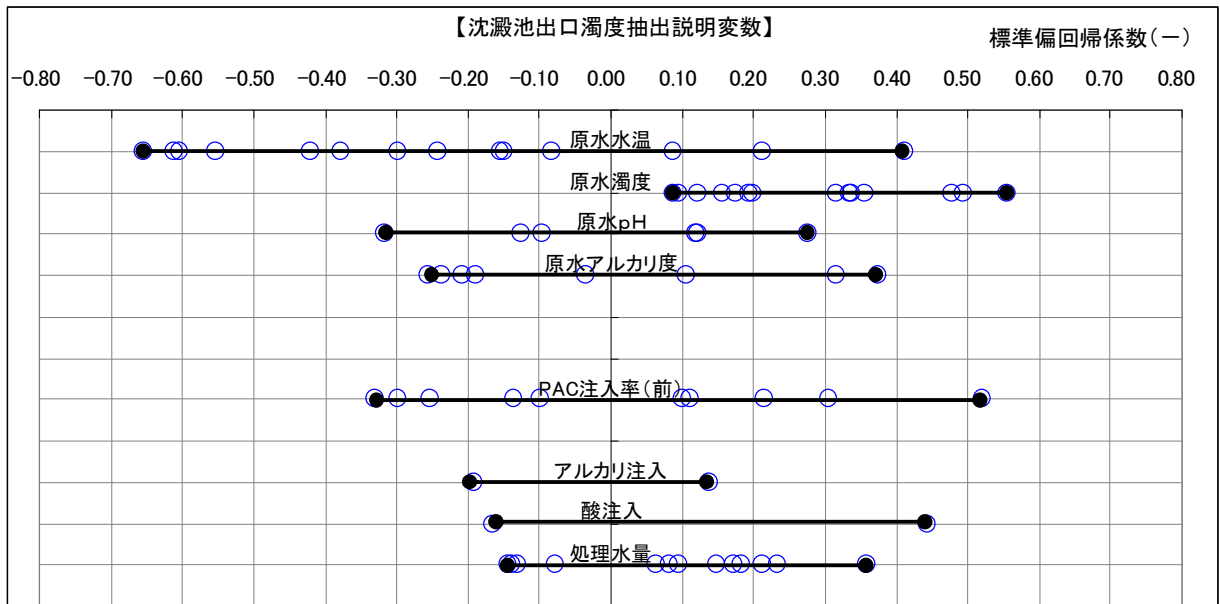


図 3-2-1 抽出説明変数の標準偏回帰係数分布

(1) 沈澱池出口濁度について

- ①原水水温が負の標準偏回帰係数として抽出された浄水場が 10 件観察された。水温が高い方がフロック形成反応や濁質沈降に好影響を与えるとされており、今回の解析でも同様の傾向を捉えることができた。
- ②原水濁度が正の標準偏回帰係数として抽出された浄水場が 14 件と最も多く観察された。原水濁度が高いほど沈澱池出口濁度が上昇するという傾向は極めて常識的であるが、今回、統計的なアプローチでも同様の傾向を捉えることができた。
- ③処理水量が正の標準偏回帰係数として抽出された浄水場が 12 件観察された。処理水量が多いほど沈澱処理水濁度が上昇する傾向があることを示しており、運転にある程度の余裕があ

った方が、処理に好影響を与えるものと考えられる。また、パドル式に比して迂流式は処理量に対する冗長性が劣ると考えられるが、各浄水場で水質、運転条件等が異なることもあって、今回の解析結果にはそのような傾向が現れなかった。

④その他の説明変数については、抽出数がやや少なく正と負両方に分布しているものが多く観察された。特に、PAC 注入率、原水 pH 等は沈澱池出口濁度を低減させる上で重要なファクターと考えられるが、浄水場によって原水条件、PAC 注入制御方法等が異なるため、正負いずれか一方的な傾向としては現れなかったと考えられる。

(2) ろ過池出口濁度について

①原水水温、原水 pH 等が正の標準偏回帰係数として抽出されており、また、PAC 注入率（前）が負の標準偏回帰係数として抽出されている。このことから、高水温期の pH 上昇時において PAC 注入率が不足すると、ろ過池出口濁度が上昇することが予測される。

②今回の重回帰分析では一応の傾向が得られたが、ろ過池出口濁度は変動が小さいデータであり、明確な傾向を示さない場合が多く、統計解析のみでの評価は困難であった。

3. 2. 3 重回帰モデル式による試算例

(1) 沈澱池出口濁度

重回帰分析により得られたモデル式の説明変数に仮定値*を代入し、原水濁度と沈澱池出口濁度の関係をグラフ化して示した（図 3-2-2、図 3-2-3）。

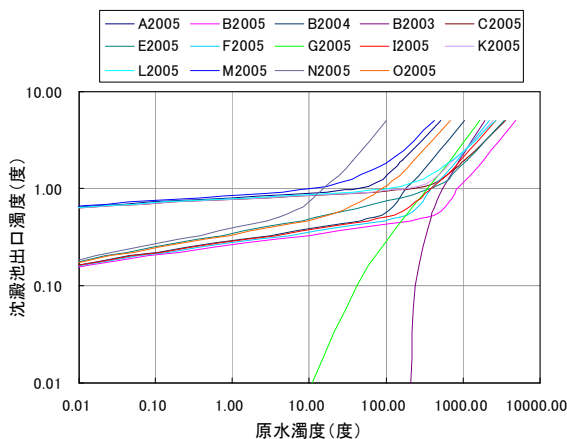


図 3-2-2 沈澱池処理限界算定例
(限界条件)

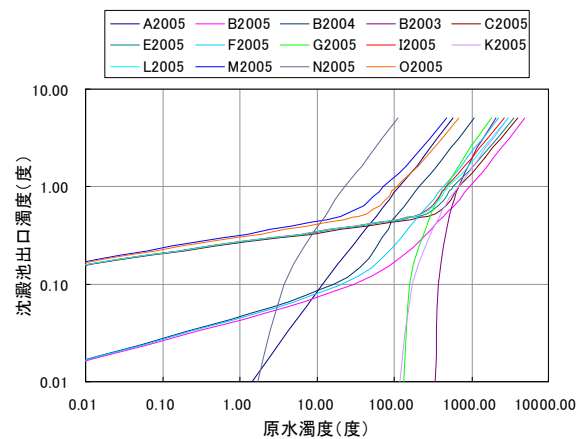


図 3-2-3 沈澱池処理限界算定例
(通常条件)

図 3-2-3 によると、沈澱池出口濁度 1~2 度程度を確保するためには、100~1,000 度程度の濁度まで対応できることがわかる。この結果は、あくまでも統計解析の結果であって、水処理技術を検証したものではないため、取扱に注意が必要であるが、今回データ収集した浄水場においても 500 度程度の濁度を処理した実績があるため、沈澱池濁度処理性能評価の一つの目安と考えられる。

(2) ろ過池出口濁度

重回帰分析により得られたモデル式の説明変数に仮定値*を代入し、沈澱池出口濁度とろ過池出口濁度の関係をグラフ化して示した（図 3-2-4、図 3-2-5）。

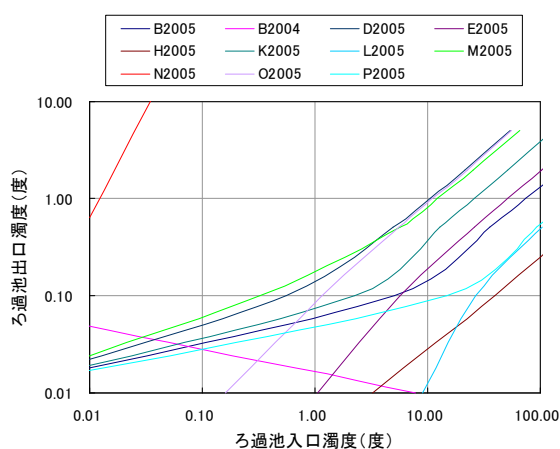


図 3-2-4 ろ過池処理限界算定例
(限界条件)

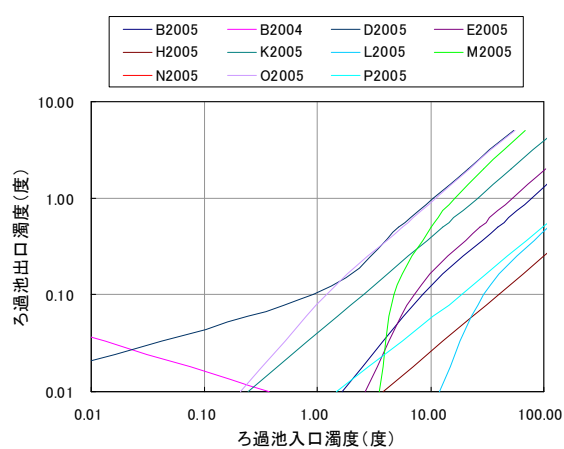


図 3-2-5 ろ過池処理限界算定例
(通常条件)

ろ過池出口濁度は、非常に小さい幅での変動であり、上昇の要因としては、逆洗直後の僅かな漏洩など突発的な事象と考えられることから、ある意味でマクロ的な分析である重回帰分析では表現しきれない面もある。結果として、浄水場によってかなりバラつきがある。

図 3-2-5 によると、ろ過池出口濁度 0.1 度程度を確保するためには、厳しい条件下でも 1～10 度程度の濁度まで対応できることがわかる。ただし、維持管理指針等によるとクリプトスポリジウム対応でろ過池出口濁度を 0.1 度以下に管理する場合、沈澱池出口濁度は 2 度程度とする必要があると考えられるので、1～2 度程度を上限値として運転されると考えられる。なお、この結果は、あくまでも統計解析の結果であって、水処理技術を検証したものではないため、取扱いに注意が必要である。

*仮定値設定の条件

(限界条件) の試算：PAC 注入率等の制御可能な説明変数については実績で最善となる操作をしたと想定し、水温、水量、pH 等の制御不可能な説明変数については実績で最悪となる状況を想定して最小値や最大値にて試算した。

(通常条件) の試算：PAC 注入率等の制御可能な説明変数については実績で最善となる操作をしたと想定し、水温、水量、pH 等の制御不可能な説明変数については通常時を想定して実績の中央値にて試算した。

3. 3 臭気除去性能評価

臭気成分除去の機能評価にあたっては、ジェオスミン及び 2-MIB について解析を行った。これらの臭気成分を積極的に除去する浄水方式として、粉末活性炭、生物処理、粒状活性炭、オゾンがあげられるが、入手できたデータ数の関係上、粉末活性炭方式のみ重回帰分析を実

施した。その他の方式については、定性的に除去率（あるいは除去量）と各因子の相関関係を探ることとした。

3. 3. 1 粉末活性炭方式における解析対象データ

粉末活性炭を注入している急速ろ過設備をもつ 27 浄水場のデータ（H15～18 年度）を用いて解析を行った。解析対象データの概要を表 3-3-1 に示す。

浄水水質についてはジェオスミン、2-MIB 共に全て水道水質基準値以下であった。原水水質においては、平均値で共に 10ng/L 以下が大半であったが、最高値については各浄水場により大きく異なっており、ジェオスミンで最高値 120ng/L、2-MIB で 150ng/L を超えるものを粉末活性炭処理のみで対応している浄水場もあった。粉末活性炭注入率に関しては、平均値（注入期の平均）は 10mg/L 以下が大半を占め、最高値については、100mg/L を超えて注入している浄水場もあった。注入時期については、各浄水場共に夏期（7～10 月）の期間で注入をしているが、通年にわたって注入をしている浄水場も多く見られた。

表 3-3-1 解析対象データ概要（全データ）

浄水場数	目的変数	説明変数	解析データ数
27 浄水場	浄水ジェオスミン濃度 (日データ)	【日データ】 原水ジェオスミン濃度、原水 2-MIB 濃度、活性炭注入率 【年平均データ】 粉炭接触時間(全)、粉炭接触水路滞留時間、混和池滞留時間、フロック形成池滞留時間、沈澱池滞留時間、沈澱池形式(横流, 上向流, 高速沈澱)、原水最高(濁度, 色度, 過マンガン酸カリウム消費量)、原水最低(濁度, 色度, 過マンガン酸カリウム消費量)、原水平均(濁度, 色度, 過マンガン酸カリウム消費量)浄水最高(濁度, 色度, 過マンガン酸カリウム消費量)、浄水最低(濁度, 色度, 過マンガン酸カリウム消費量)、浄水平均(濁度, 色度, 過マンガン酸カリウム消費量)浄水平均除去率(濁度, 色度, 過マンガン酸カリウム消費量) 全 32 項目	各項目 約 18,000 点
	浄水 2-MIB 濃度 (日データ)		

※粉炭接触時間(全) は粉炭注入点から沈澱池までの各水槽の滞留時間の合計を示す。

日データにおいて原水濃度、浄水濃度、活性炭注入率のいずれかがない場合は、その日のデータは無効として削除した。また、データ数が少ない説明変数は削除した。その結果、19 浄水場、説明変数 16 項目に絞った後に重回帰分析を実施した。

3. 3. 2 粉末活性炭方式における臭気除去影響因子の評価

浄水水質のジェオスミンおよび 2-MIB を目的変数として重回帰分析を実施した結果（偏相関係数上位 5 位）を図 3-3-1 に示す。

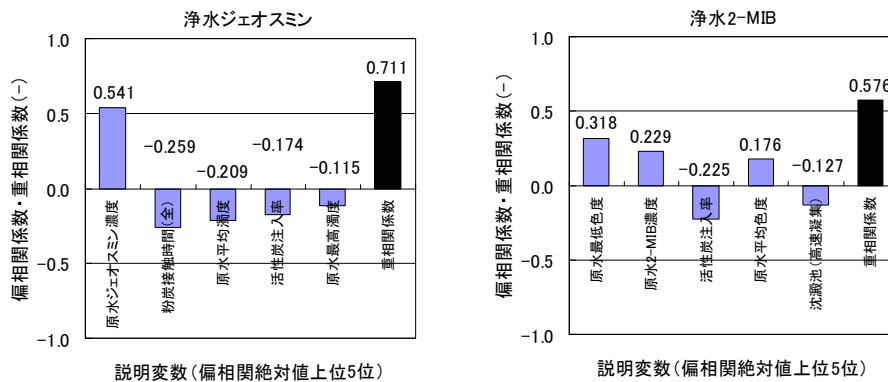


図 3-3-1 浄水ジェオスミン濃度・浄水 2-MIB 濃度に関する抽出説明変数

重回帰分析の結果は、2-MIB に関してはやや数値が低いですが、良好な重相関係数となっており、まずまず信頼できるものと解釈できる。それぞれの臭気物質の原水濃度が上位に抽出され、共に原水の臭気濃度に正の相関が得られた。また、活性炭注入率に関してもジェオスミンにおいては4位であったが上位に抽出され、共に負の相関が得られた。

ジェオスミンにおいては、原水濃度が高ければ浄水水質も高くなり、粉炭接触時間が長く、粉炭注入率が高ければ、浄水水質は低くなるといった従来の考え方と同じ結果が得られた。また、濁度（年平均、最高値）が高いところはジェオスミンの浄水水質が低くなる傾向となった。

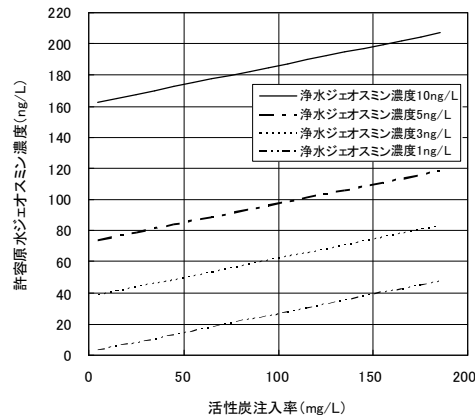
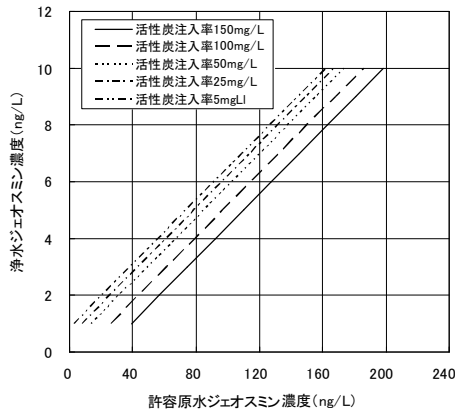
2-MIB においては、ジェオスミンでは見られなかった色度、過マンガン酸消費量（図 3-3-1 には現れないが上位6位）等の水質項目に対しても高い相関が得られ、共に正の相関が得られている。このことより、色度が高い場合には、2-MIB の浄水濃度は高くなる傾向となり、2-MIB はジェオスミンと比較すると、色度成分や有機物に影響されやすいことが考えられる。ジェオスミンでは2位に上げられている粉炭接触時間に関しては、2-MIB では抽出される項目にはなく、影響度は低いという結果となった。また、他の項目として高速凝集沈澱池の施設において浄水濃度が低い傾向も見られた。しかし、今回調査した浄水場の内、高速沈澱池の施設が1箇所のみであったために、データ数が増えればこの傾向も変化する可能性がある。

3. 3. 3 粉末活性炭方式における臭気除去のモデル化

粉末活性炭方式について重回帰分析したデータを用いてジェオスミン及び 2-MIB の浄水処理機能の限界について試算を試みた。但し、今回の試算は調査したデータに基づいた結果であるため、全ての浄水場に当てはまるとは限らないので取り扱いには注意していただきたい。

(1) ジェオスミン

目標とするジェオスミンの浄水水質を仮定（1,3,5,10ng/L）し、活性炭注入率は 150mg/L 程度まで注入が出来るものとして許容できるジェオスミンの原水濃度を試算した。その結果を図 3-3-2 に示す。なお、図中の算出条件に示すように、原水ジェオスミン濃度、活性炭注入率以外の説明変数には今回調査したデータの中央値を代入した。



算出条件

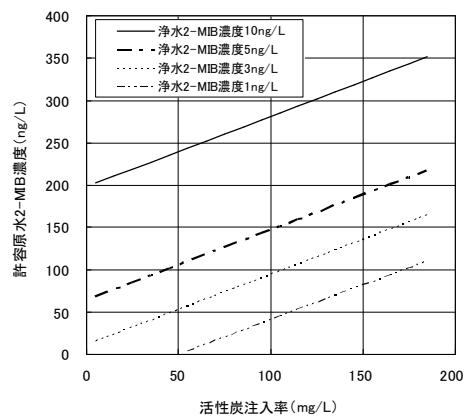
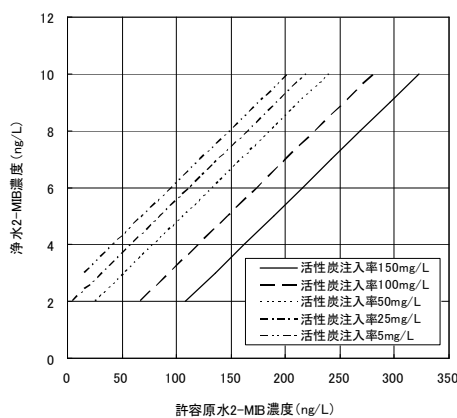
原水最高色度	28.0度	原水最高濁度	180度
粉炭接触時間(全)	229min	原水平均濁度	13.0度

図 3-3-2 ジェオスミン浄水処理機能限界算定例

算出した結果、浄水ジェオスミン濃度は概ね原水ジェオスミン濃度に大きく左右され、粉末活性炭注入率の影響はそれ程大きくはない結果となった。本調査ではその原因を明らかにするまでには至らなかった。粉末活性炭処理におけるジェオスミンの処理機能限界としては、粉炭注入率を最大 100mg/L まで可能とすると、目標水質を 1ng/L とした場合には、原水ジェオスミンで約 30ng/L まで対応でき、目標水質を 5ng/L とした場合は約 100ng/L 程度まで対応できる結果となった。

(2) 2-MIB

目標とする 2-MIB の浄水水質を仮定 (1,3,5,10ng/L) し、活性炭注入率は 150mg/L 程度まで注入が出来るものとして許容できる 2-MIB の原水濃度を試算した。その結果を図 3-3-3 に示す。算出条件は図中に示すように、沈澱池形式を横流式とし、原水 2-MIB 濃度、活性炭注入率以外の説明変数には今回調査したデータの中央値を代入した。



算出条件

原水最高過Mn消費量	34.2mg/L	原水最低色度	5.0度
沈澱池型式	横流式	原水平均色度	13.0度

図 3-3-3 2-MIB 浄水処理機能限界算定例

浄水 2-MIB 濃度についても原水濃度に最も影響されるが、ジェオスミンの場合と比べると粉末活性炭注入率の影響を受けやすいという結果となった。粉末活性炭処理における 2-MIB の処理機能限界としては、粉炭注入率を最大 100mg/L まで可能とすると、目標水質を 1ng/L とした場合には、原水 2-MIB で約 40ng/L まで対応でき、目標水質を 5ng/L とした場合は約 150ng/L まで対応できる結果となった。

3. 3. 4 粉末活性炭以外の方式における臭気除去性能の評価

生物処理、粒状活性炭、オゾンのうち、本書では生物処理方式を採用している急速ろ過設備をもつ 4 浄水場 (2-MIB は 2 浄水場) の H16~17 年度のデータを用いて解析を行った結果を報告する。この 4 浄水場はすべて粉末活性炭方式を併用しているが、粉末活性炭の無注入時のデータを抽出して解析した。結果の一例を図 3-3-4 に示す

原水性状、生物接触時間、生物担持体など、様々な条件によって傾向は異なるが、ジェオスミン、2-MIB とも、原水濃度が 20~100ng/L 程度であれば、除去率は 80~100%程度で安定しており、概ね水道基準 (10ng/L 以下) を達成していた。また、原水濃度が 20ng/L 以下の場合、とくにジェオスミンの除去率は 40~100%とバラつくが、浄水濃度はすべて 5ng/L 未満であった。

なお、実際には、水道基準に上乗せして設定している各浄水場の管理基準値にしたがい、原水濃度が高い時期には粉末活性炭を注入して生物処理方式を補っている。

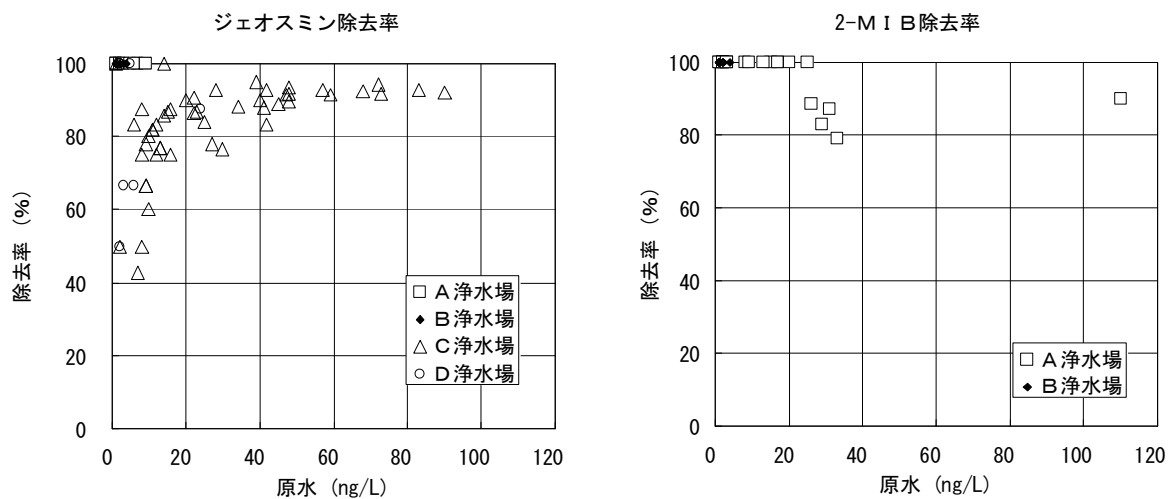


図 3-3-4 生物処理方式における原水ジェオスミン濃度、2-MIB 濃度と除去率の相関

A 浄水場、B 浄水場： 生物接触時間：6 分、担持体：活性炭

C 浄水場、D 浄水場： 生物接触時間：14 分、担持体：セラミック

3. 4 その他の研究成果

3. 4. 1 ヒアリング調査

既存浄水場（36 水道事業体、94 浄水場）に対してヒアリング、アンケートを実施し、水質・施設設計諸元・運転条件（薬品注入率等）等の浄水プロセスの機能評価に必要なデータ・情報を収集した。この内 17 水道事業体、18 浄水場については浄水場を訪問し、データには表れない処理機能を維持するための運転管理上の留意事項等について直接話を伺った。

収集したデータの内、運転管理基準値、維持管理人数、運転管理上の留意点といった浄水場を維持管理する上で参考となる知見を整理してとりまとめた。

（1）水質管理基準

運転管理上、特に重要視する水質項目として、濁度、pH、残留塩素、臭気（ジェオスミン、2-MIB、臭気濃度）、色度、総トリハロメタン、有機物（過マンガン酸カリウム消費量、TOC）が多くあげられている。また、件数は多くないが、アルミニウム、マンガン、農薬等の回答もあった。例として、図 3-4-1、図 3-4-2 に浄水濁度、沈澱池出口濁度に関する調査結果を示す。

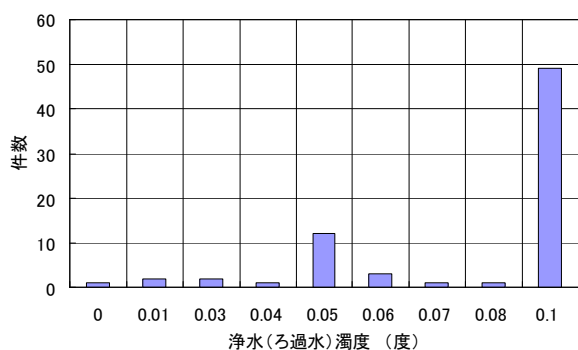


図 3-4-1 浄水（ろ過水）濁度管理基準値

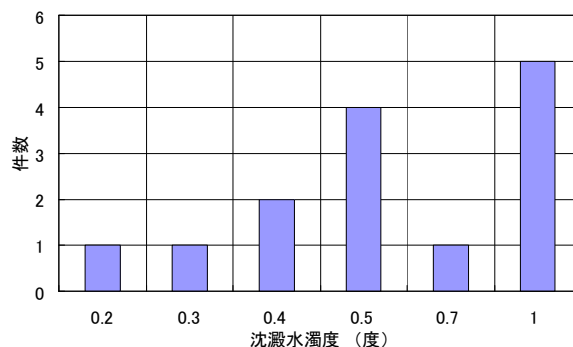


図 3-4-2 沈澱水濁度管理基準値

ほぼ全ての浄水場で、浄水またはろ過水濁度を運転管理上重要視する水質項目にあげており、管理基準値は「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」で規定されている 0.1 度以下としている。沈澱水濁度を重要視する水質項目にあげている浄水場が 15 件あり、管理基準値を 1 度とする浄水場が 5 件、0.5 度とする浄水場が 4 件であった。

（2）維持管理人数

図 3-4-3 および表 3-4-4 はヒアリング調査結果から施設能力と維持管理人数についてまとめたものである。維持管理人数は場長などの管理職や事務職を除いた維持管理に直接携わる昼間の人数を集計した。ばらつきはあるが施設能力 10,000m³/日から 100,000m³/日規模の浄水場では 10～20 名程度の人数で運転されている。

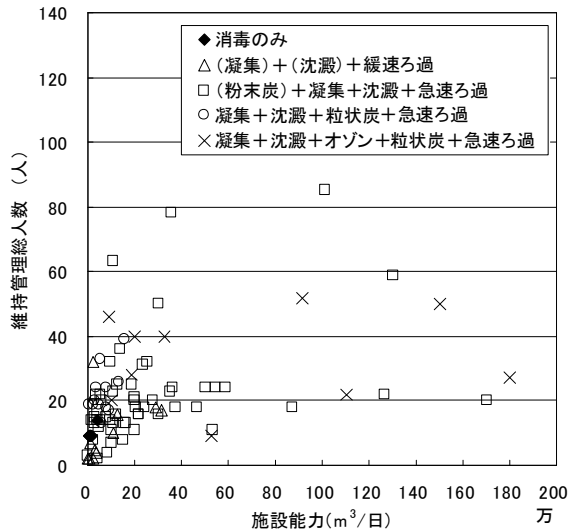


図 3-4-3 施設能力と維持管理人数

表 3-4-4 施設能力と維持管理人数 (人)

浄水能力	最小値	中央値	最大値
~ 10,000m ³ /日	2	3	19
10,000m ³ /日 ~ 50,000m ³ /日	2	13	32
50,000m ³ /日 ~ 100,000m ³ /日	4	18	46
100,000m ³ /日 ~ 200,000m ³ /日	7	20	63
200,000m ³ /日 ~ 500,000m ³ /日	11	18	78
500,000m ³ /日 ~	9	24	85
全体	2	18	85

3. 4. 2 設計指針値と実績値の比較

浄水場における実運転値（年平均）と水道施設設計指針で示されている設計値（以下、設計指針値とする）との比較を接触時間（粉末活性炭、生物処理、オゾン）・ろ過速度（急速ろ過・緩速ろ過）・粒状活性炭空間速度、滞留時間（混和池、フロック形成池）について調査した。例として、図 3-4-5 に粉末活性炭の接触時間における調査結果を示す。

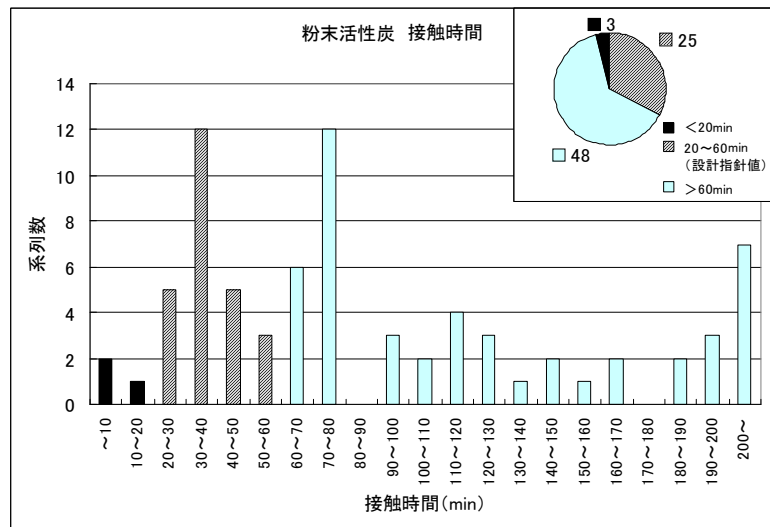


図 3-4-5 設計指針値と実績値の比較
(粉末活性炭 接触時間)

調査の結果、生物処理の接触時間、オゾン処理の反応・接触時間といった高度処理に関する項目が設計指針値より厳しい条件で運転されていた。また、稼働率（施設能力と年間平均浄水量の比）が低いために、結果として、急速ろ過および緩速ろ過におけるろ過速度が設計指針値と比較して余裕がある浄水場が多く見られた。

3. 4. 3 全国水道研究発表会講演集からの情報

平成 9~18 年度の 10 年分の全国水道研究発表会のなかで、実験装置によるものを除き、浄水場実施設において浄水機能を向上させるべく、各浄水場が取り組んできた研究成果 132 報をピックアップして、計画設計、運転管理の参考となるようにまとめた。

技術別にみると、凝集 17 報、粉末活性炭 16 報、生物処理 11 報、オゾン・活性炭処理 29

報、急速ろ過・緩速ろ過 27 報、膜ろ過 19 報、その他 13 報であった。

4. まとめ

全国の 37 水道事業体（115 浄水場）より、水質・施設設計諸元・運転条件等に関する多種多様なデータを収集し、多変量解析の 1 つである重回帰分析の手法により浄水プロセスの機能評価を試みた。

解析の結果、水質・施設設計諸元・運転条件等が濁度、色度、過マンガン酸カリウム消費量、ジェオスミン、2-MIB の処理性に与える影響度の傾向を示すことができた。この成果は、原水が悪化した浄水場において施設の改善を検討する上で重要な情報となりうる。また、重回帰分析から得られたモデル式に仮定値を代入することで、各水質項目の処理限界（許容原水濃度等）を試算した。

解析から得られた主な知見を下記に示す。

- ・時間毎データを用いて沈澱池出口およびろ過池出口濁度を目的変数とする重回帰分析を実施した結果、沈澱池出口濁度 1 度を達成させるためには原水濁度 100～1,000 度程度、ろ過池出口濁度 0.1 度を達成させるためには、沈澱池出口濁度 1～2 度程度が上限値になると考えられる。
- ・粉末活性炭方式において、浄水のジェオスミンおよび 2-MIB を目的変数とする重回帰分析を実施した結果、粉炭注入率を 100mg/L まで注入可能、目標浄水濃度を 5ng/L とすると、許容できる原水のジェオスミン濃度は約 100ng/L、2-MIB 濃度は約 150ng/L であることが示された。
- ・原水濁度を目的変数とする重回帰分析を実施した結果、中 PAC の注入を行えば、許容できる原水の年平均濁度が 3～4 度高くなることが示された。
- ・原水色度を目的変数とする重回帰分析を実施した結果、凝集剤年平均注入率 50mg/L、粉炭注入率が 5～15mg/L のとき、許容できる原水の年平均色度は 10 度前後であることが示された。
- ・浄水の KMnO_4 消費量を目的変数とする重回帰分析を実施した結果、同じ原水濃度でも原水 pH が 1 高ければ浄水の KMnO_4 消費量が 0.4mg/L 程度上昇することが示された。

これらの算定結果は、調査対象とした浄水場のデータに基づいた統計解析によるものであり、全ての浄水場に当てはまるとは限らないが、浄水処理の機能限界を考える上での目安となりうる。

また、ヒアリング調査の結果、浄水工程における濁度・pH などの水質管理基準がどのような値に設定されているか、混和池の滞留時間や粒状活性炭の空間速度などの各浄水単位プロセスの運転操作因子が設計指針値と比較してどのような値となっているか、を知ることができた。

本委員会の研究成果が、最適浄水システム選定の一助となることを期待する。