

表 3-4-9 急速ろ過と粉末活性炭の平均色度除去率に関する t 検定結果
(t : t 値、P(T<=t) : 有意確率)

	急速ろ過 (粉炭除く)	粉末活性炭
平均	0.962	0.981
分散	0.022	0.009
観測数	654	131
仮説平均との差異	0	
自由度	282	
t	-1.819	
P(T<=t) 片側	0.035	
t 境界値 片側	1.650	
P(T<=t) 両側	0.070	
t 境界値 両側	1.968	

表 3-4-10 急速ろ過とオゾン+粒状活性炭の平均色度除去率に関する t 検定結果
(t : t 値、P(T<=t) : 有意確率)

	急速ろ過 (粉炭除く)	オゾン+ 粒状活性炭
平均	0.962	0.978
分散	0.022	0.002
観測数	654	29
仮説平均との差異	0	
自由度	73	
t	-1.647	
P(T<=t) 片側	0.052	
t 境界値 片側	1.666	
P(T<=t) 両側	0.104	
t 境界値 両側	1.993	

表 3-4-11 急速ろ過と膜ろ過の平均色度除去率に関する t 検定結果
(t : t 値、P(T<=t) : 有意確率)

	急速ろ過 (粉炭除く)	膜ろ過
平均	0.962	0.909
分散	0.022	0.091
観測数	654	11
仮説平均との差異	0	
自由度	10	
t	0.586	
P(T<=t) 片側	0.285	
t 境界値 片側	1.812	
P(T<=t) 両側	0.571	
t 境界値 両側	2.228	

3. 4. 3 過マンガン酸カリウム消費量

1) 過マンガン酸カリウム消費量の原水値と平均除去率および浄水値の関係

各処理方式による過マンガン酸カリウム消費量の原水値と平均除去率および浄水値の関係を図 3-4-17、図 3-4-18 に示す。また、過マンガン酸カリウム消費量の除去率とその除去

率を示す浄水場箇所数の割合との関係をヒストグラムとして図 3-4-19 に示す。

濁度や色度と異なり、過マンガン酸カリウム消費量の除去については、浄水値が検出限界以下となることが少ないため、原水値の上昇につれて浄水値も上昇する傾向が全体的に伺われる。また、それぞれの処理の過マンガン酸カリウム消費量に対する除去性については、

緩速<急速<急速+粒状活性炭<急速+粒状+オゾン
といった傾向が伺われる。

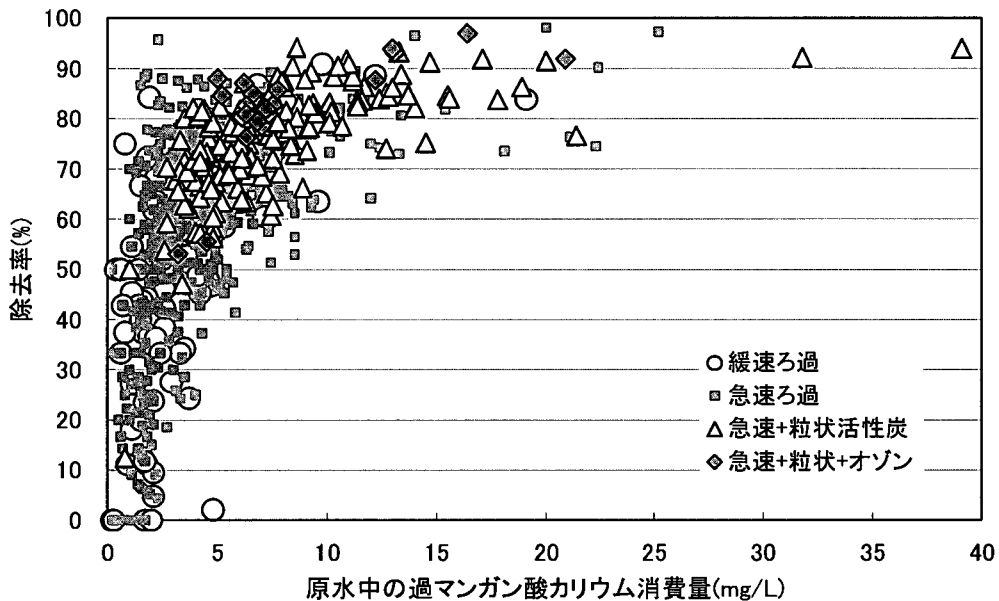


図 3-4-17 過マンガン酸カリウム消費量の原水値と平均除去率の関係 (平成 12 年度)

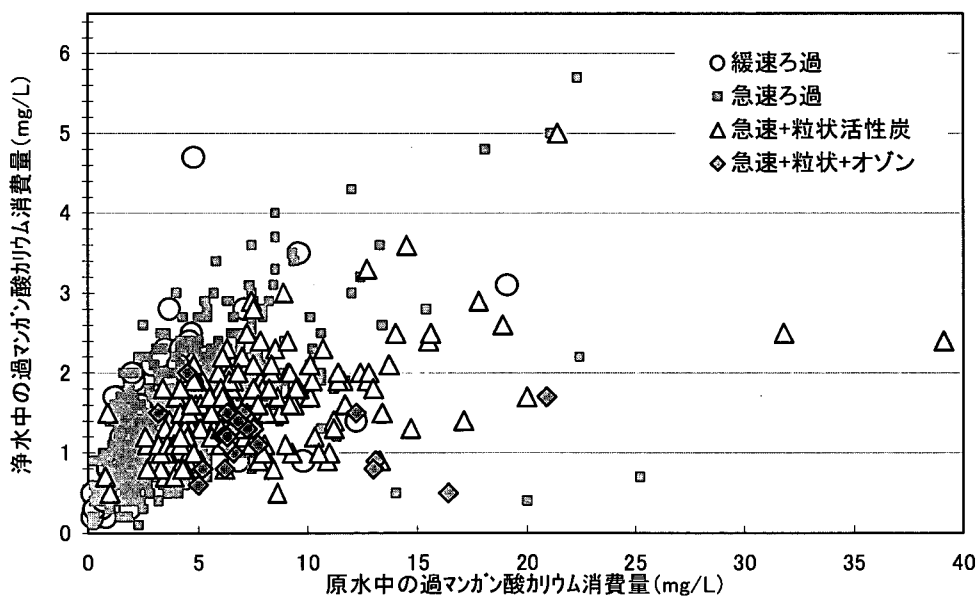


図 3-4-18 各処理方法による過マンガン酸カリウム消費量の原水値と浄水値との関係 (平成 12 年度平均値)

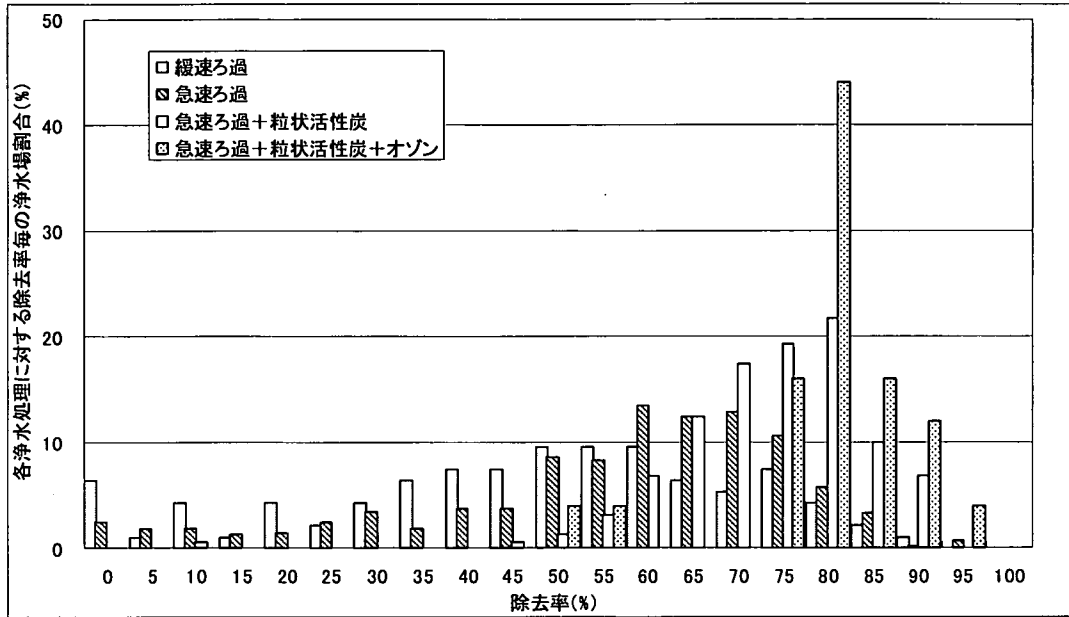


図 3-4-19 各処理方式の過マンガン酸カリウム消費量除去率と浄水場箇所数の割合との関係（平成 12 年度）

次に、これらの各処理方式の過マンガン酸カリウム消費量の平均除去率に有意な差があるかどうかを t 検定により検証した。その結果を表 3-4-12～表 3-4-15 に示す。これらによると、99%以上の確率でそれぞれの処理方法の間に平均除去率の有意差が認められた。

表 3-4-12 急速ろ過と緩速ろ過の過マンガン酸カリウム消費量平均除去率に関する t 検定結果（t : t 値、P(T<=t) : 有意確率）

	急速ろ過	緩速ろ過
平均	55.7	45.7
分散	744.6	1071.4
観測数	562	97
仮説平均との差異	0	
自由度	120	
t	2.84	
P(T<=t) 片側	0.00262	
t 境界値 片側	1.66	
P(T<=t) 両側	0.00524	
t 境界値 両側	1.98	

表 3-4-13 急速ろ過と粒状活性炭の過マンガン酸カリウム消費量平均除去率に関する t 検定結果 (t : t 値、P(T<=t) : 有意確率)

	急速ろ過	粒状活性炭
平均	55.7	74.8
分散	744.6	237.0
観測数	562	162
仮説平均との差異	0	
自由度	473	
t	-11.4	
P(T<=t) 片側	3.03E-27	
t 境界値 片側	1.65	
P(T<=t) 両側	6.07E-27	
t 境界値 両側	1.96	

表 3-4-14 粒状活性炭とオゾン+粒状活性炭の過マンガン酸カリウム消費量平均除去に関する t 検定結果 (t : t 値、P(T<=t) : 有意確率)

	粒状活性炭	オゾン+ 粒状活性炭
平均	74.8	82.2
分散	237.0	97.0
観測数	162	25
仮説平均との差異	0	
自由度	45	
t	-3.17	
P(T<=t) 片側	0.00137	
t 境界値 片側	1.68	
P(T<=t) 両側	0.00275	
t 境界値 両側	2.01	

3. 4. 4 まとめ

水道統計によって得られた原水水質および浄水水質と各浄水場の処理方式に関するデータから主要水質項目に関する傾向を大まかには示すことができた。

しかし、水道統計によって得られる浄水水質データは、そのほとんどすべてが水道水質基準をクリアしたデータとなっている。また、原水および浄水の最大値のデータにデータ採取時期の同期がとれていない(原水最大値と浄水最大値のサンプリング日が違う)。さらに、運転条件(状況によって変化させていたり、設備自体の運転を休止している等)との同期もとれていない。

したがって、本研究委員会では、前述した 3. 1~3. 3 項で示したような解析を主要テーマとして機能評価を行ってきた。本項はあくまで参考資料としての位置づけである。

3. 5 その他の研究成果

3. 5. 1 ヒアリング調査

(1) 概要

浄水処理の機能評価を行うには水道統計データだけでなく、さらに詳細なデータが必要であった。このため、実際に稼働している浄水場に対してヒアリング調査を行い、水質データ、浄水処理に係わるデータ（薬品注入率等）や浄水処理施設の能力などの詳細なデータ・情報を収集した。また、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関するヒアリングも行った。

(2) 調査内容

1) アンケート調査

水道事業体へアンケートを依頼し、施設概要や運転管理状況（運転管理基準、維持管理人数等）、原水の水質異常とその対処方法等について調査を行った。アンケート調査は水質評価委員会と合同で実施した。

また、浄水処理の機能評価に必要な各プロセスの設計諸元、水質、薬品注入率等の運転データを収集し、解析を行うために所定のフォーマットに整理した。

2) 直接ヒアリング調査

浄水場（17 水道事業体、18 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に関するヒアリング調査を実施した。浄水場の選定基準としては、①水質や運転管理情報を電子データで所有②様々な浄水処理フロー③原水にて臭気原因物質を検出している等を考慮した。なお、直接ヒアリング調査は、浄水システム委員会及び水質評価委員会と合同で実施した。

(3) ヒアリング調査のまとめ

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。なお、原水水質に発生した障害とその対策の事例については、水質評価委員会でもまとめている。

1) 調査対象

表3-5-1 および表3-5-2 にアンケート調査及び直接ヒアリング調査を行った浄水場のフロー、施設能力の集計表を示す。なお、粒状活性炭処理、オゾン処理は急速ろ過の前段の場合と後段の場合があるが、ここでは区別せずに取り扱うこととする。

表 3-5-1 ヒアリング対象の浄水フロー

浄水フロー	浄水場数
消毒のみ	6
(凝集) + (沈澱) + 緩速ろ過	11
凝集 + 沈澱 + 急速ろ過	8
粉末炭 + 凝集 + 沈澱 + 急速ろ過	47
凝集 + 沈澱 + 粒状炭 + 急速ろ過	12
凝集 + 沈澱 + オゾン + 粒状炭 + 急速ろ過	10
合計	94

表 3-5-2 ヒアリング対象の浄水能力

浄水能力	浄水場数
10,000m ³ /日未満	6
10,000m ³ /日以上 50,000m ³ /日未満	21
50,000m ³ /日以上 100,000m ³ /日未満	14
100,000m ³ /日以上 200,000m ³ /日未満	19
200,000m ³ /日以上 500,000m ³ /日未満	20
500,000m ³ /日以上	14
合計	94

2) 水質管理基準

表 3-5-3 はヒアリング調査において「特に重要視している水質項目と水質管理基準値」の質問に対してあがった水質項目（10 件以上）を浄水フロー毎に集計したものである。

表 3-5-3 重要水質管理項目

件数

浄水フロー ※1	全浄水場数	濁度		pH	残留塩素	ジェオスミン	2-MIB	色度	総THM	KMnO ₄ 消費量 ※3	臭気濃度
		浄水 ※2	沈澱水								
①	6	6	0	6	5	0	0	1	0	0	0
②	11	9	1	3	5	0	0	1	0	0	0
③	8	7	3	6	6	2	2	2	2	1	1
④	47	43	11	29	29	16	15	12	9	6	7
⑤	12	11	0	7	9	2	2	6	4	7	3
⑥	10	2	0	4	1	6	6	0	4	4	0
合計	94	78	15	55	55	26	25	22	19	18	11

※1：浄水フローは①消毒のみ、②(凝集)+(沈澱)+緩速ろ過、③凝集+沈澱+急速ろ過、④粉末炭+凝集+沈澱+急速ろ過⑤凝集+沈澱+粒状炭+急速ろ過⑥凝集+沈澱+オゾン+粒状炭+急速ろ過

※2：ろ過水濁度を含む。

※3：TOCを含む。

表 3-5-3 に示す様に、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、農薬等の回答もあった。

以下に各水質項目の管理基準値を示す。

①濁度 (厚生労働省 水道水質基準 : 2 度以下、水質管理目標値 : 1 度以下)

ほとんどの浄水場で浄水濁度またはろ過水濁度を特に重要視している水質項目にあげている。管理基準値は回答があった全ての浄水場で「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。

また、濁度に関連する項目として、ろ過水の粒子数を重要視する水質項目にあげている浄水場が 4 件 (いずれも同じ事業者) であった。

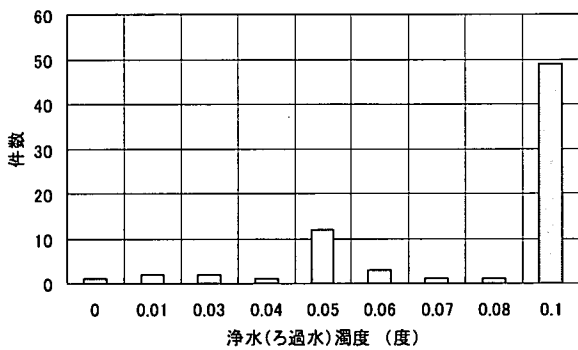


図 3-5-1 浄水 (ろ過水) 濁度管理基準値

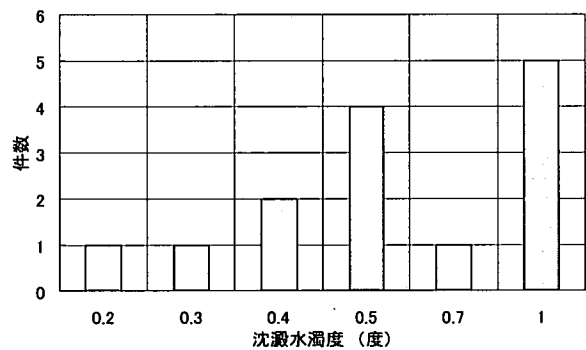


図 3-5-2 沈澱水濁度管理基準値

②pH 値 (厚生労働省 水道水質基準 : 5.8 以上 8.6 以下、水質管理目標値 : 7.5 程度)

半数以上の浄水場が pH 値を重要視する水質項目にあげている。管理基準値は、下限は 7.0 前後、上限は 7.5 とする浄水場が多い。上限・下限を定めていない浄水場では 7.5 前後を基準値とする回答が多くみられた。

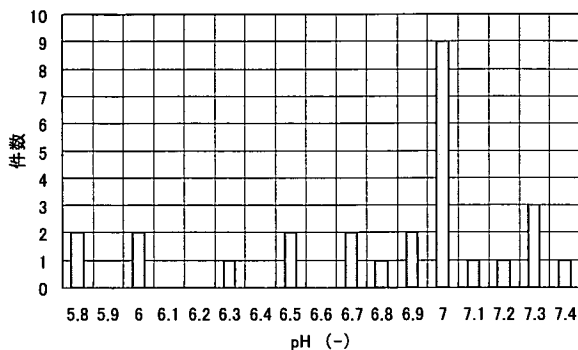


図 3-5-3 pH 下限管理基準値

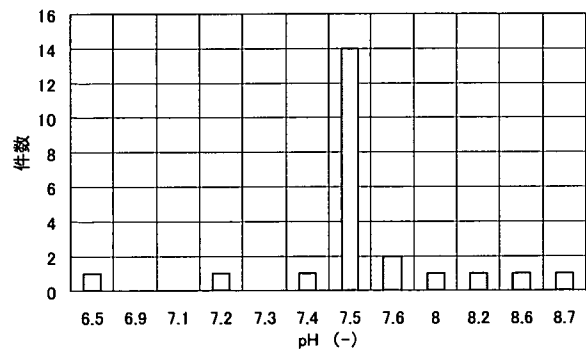


図 3-5-4 pH 上限管理基準値

③残留塩素（厚生労働省 水質管理目標値：1mg/L 以下 水道法施行規則 給水栓で 0.1mg/L 以上）

半数以上の浄水場が残留塩素を重要視する水質項目にあげている。図 3-5-5 は浄水場出口または配水池での残留塩素の管理基準値を集計したものである。上限・下限を定めている浄水場もあるが集計には含めていない。管理基準値を 0.5～1.0mg/L とする浄水場が多く、夏期は冬期より 0.1～0.2mg/L 程度高く設定している。また、塩素追加注入点や管末端での測定値に応じて塩素注入量を増減させているという回答が見られる。

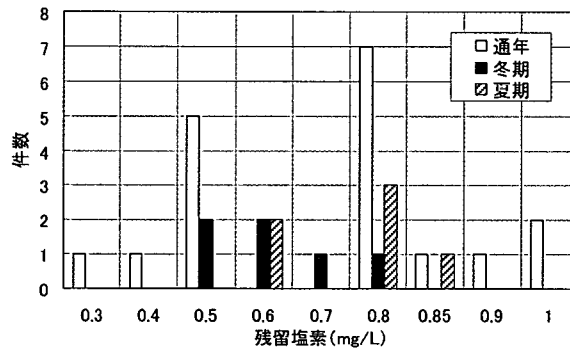


図 3-5-5 残留塩素管理基準値

④ジェオスミン・2-MIB（厚生労働省 水道水質基準：10ng/L 以下）

ジェオスミンを重要視する水質項目にあげている浄水場は 26 件、2-MIB では 25 件であった。これらの浄水場のほとんどが粉末炭設備または粒状炭設備を導入している。管理基準値はジェオスミン、2-MIB 共に 5ng/L とする浄水場が多い。

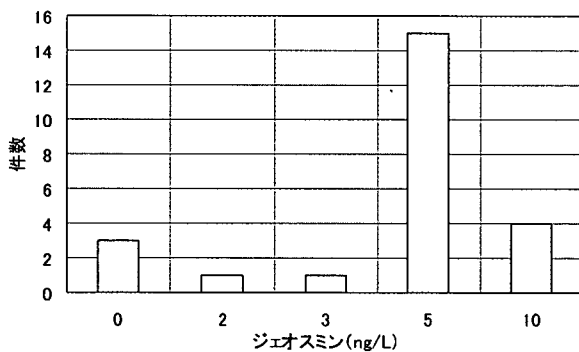


図 3-5-6 ジェオスミン管理基準値

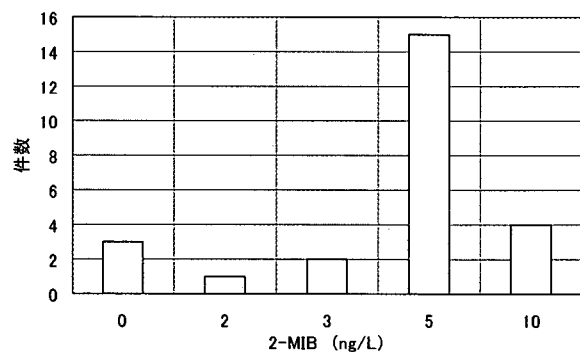


図 3-5-7 2-MIB 管理基準値

⑤色度（厚生労働省 水道水質基準：5 度以下）

色度を重要視する水質項目にあげている浄水場は 22 件であった。管理基準値を 1 度以下とする浄水場が多い。

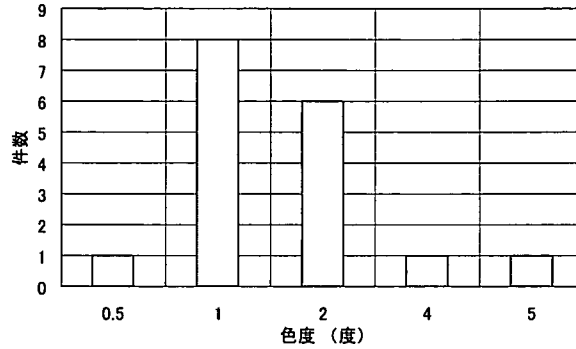


図 3-5-8 色度管理基準値

⑥総トリハロメタン (厚生労働省 水道水質基準：100 μ g/L 以下)

総トリハロメタンを重要視する水質項目にあげている浄水場は 19 件であった。管理基準値を 30 μ g/L 以下とする浄水場が多い。

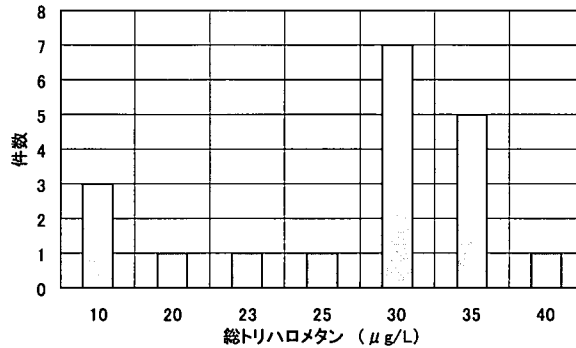


図 3-5-9 総トリハロメタン管理基準値

⑦過マンガン酸カリウム消費量 (厚生労働省 水質管理目標値：5mg/L 以下)、TOC (厚生労働省 水道水質基準：5mg/L 以下)

過マンガン酸カリウム消費量または TOC を重要視する水質項目にあげている浄水場は 18 件であった。管理基準値は過マンガン酸カリウム消費量については 3mg/L 以下、TOC については回答件数は 3 件と少ないが 2 mg/L 以下であった。

また、E260 を重要視する水質項目にあげている浄水場もあった。

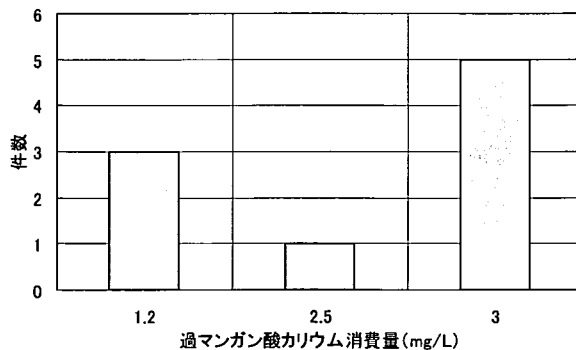


図 3-5-10 過マンガン酸カリウム消費量管理基準値

3) 維持管理人数

図 3-5-11 および表 3-5-4 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。

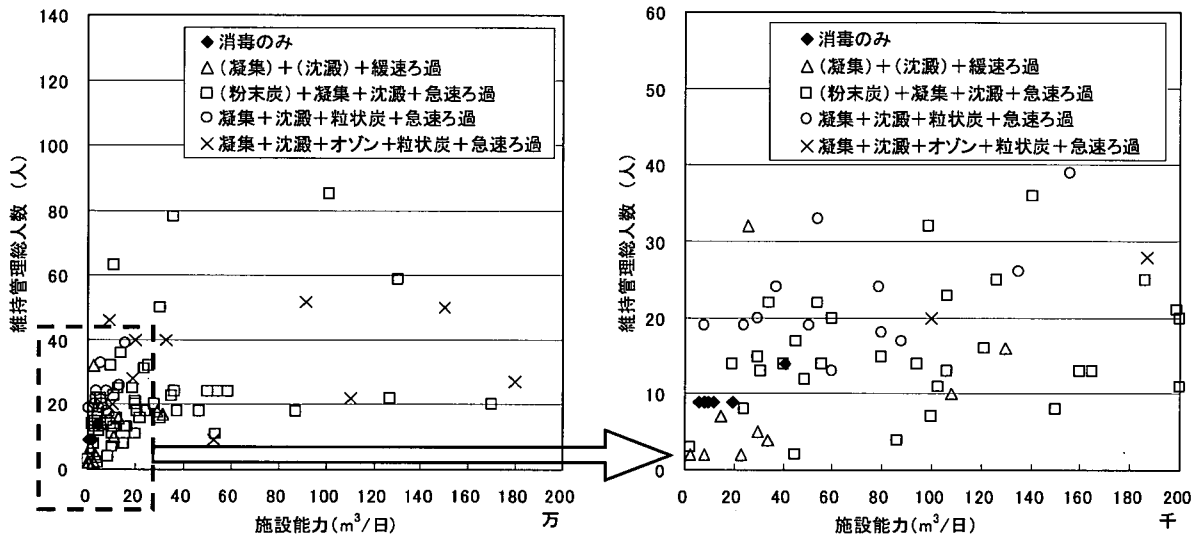


図 3-5-11 施設能力と維持管理人数

表 3-5-4 施設能力と維持管理人数

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

4) 運転管理上の留意点

浄水場（17 水道事業体、18 浄水場）への直接ヒアリングでは、①濁度に関する運転上の留意点、②pH に関する運転上の留意点について調査を行っている。以下に代表的な回答を示す。

①濁度に関する運転上の留意点

- ・高濁度時、凝集剤注入率が最大能力以上に必要となる場合は取水制限を行う。(2 件)

- ・高濁度時は凝集剤注入率を増加する。取水制限は無い。(3件)
- ・高濁度時はアルカリ度が低下するため、苛性ソーダを注入する。(2件)
- ・濁度上昇によって塩素消費量が増大した場合は、中間塩素注入率を増加する。(1件)
- ・原水状況を確認して選択取水(ダム水・表流水)する。(1件)
- ・ダム取水塔から取水しており、高濁度時は濁度の低い層から取水する。(2件)
- ・高濁度時は排泥池の排泥周期を調節する。(1件)
- ・緩速ろ過池は10~15度以下で取水する。(1件)

なお、直接ヒアリング調査を行った浄水場18件の内、16件が急速ろ過方式、1件は緩速ろ過と急速ろ過の併用、1件は緩速ろ過方式である。

以上より、高濁度時には、急速ろ過方式では次のような対応を行っている。①複数の水源や取水方法がある場合には、より濁度の低い水源や取水方法に変更する。②凝集剤注入率を増加する。凝集剤の必要注入量が最大注入量を超える場合には取水制限を行う。③排水処理に関する対応を行う。(排泥池の排泥周期を増やす等)④濁度以外の水質に影響がある場合(アルカリ度の低下等)にはその対応を行う。

②pHに関する運転上の注意点

直接ヒアリング調査を行った18浄水場の内、季節や時間帯によって高pHの傾向がある浄水場は10件、低pHの傾向がある浄水場は2件、高pH、低pH両方の傾向がある浄水場は3件であった。高pH時、低pH時の主な対応策を以下に示す。

- ・高pH時は硫酸を注入している。(5件)
- ・高pH時は炭酸ガスを注入している。(2件)
- ・高pH時は硫酸バンドを注入している。(1件)
- ・酸注入設備が無い場合、高pH時はPACを多めに注入している。(1件)
- ・低pH時、アルカリ度不足時は苛性ソーダを注入している。(4件)
- ・低pH時、アルカリ度不足時は消石灰を注入している。(1件)

以上の様に、高pH時は硫酸、炭酸ガスを注入しているが、酸注入設備が無い場合は、硫酸バンドを注入したり、PACを多めに注入して対応している。低pH時は苛性ソーダ、消石灰を注入し対応している。また、高pH、低pHの季節は浄水場によって様々であり、降雨によってpHが低下する場合もある。

直接ヒアリング調査では、pH調整によって「PAC注入率が適正となり汚泥の発生量が減った」、「AL/T比が改善されて排水処理性がよくなった」という回答があった。凝集沈澱処理においてpH制御は非常に重要であり、pHを適正に制御することで凝集剤使用量や汚泥発生量を低減することができ、維持管理費の削減につながるという。

3. 5. 2 設計指針と実績値の比較

調査した浄水場において、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（図 3-5-12～3-5-21）。

調査結果から、生物処理の接触時間、後オゾンおよび前オゾンの反応・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る。また、急速ろ過および緩速ろ過のろ過速度は設計指針値と比較して余裕がある浄水場が多いが、本調査は年平均値で比較したものであることを付け加えておく。

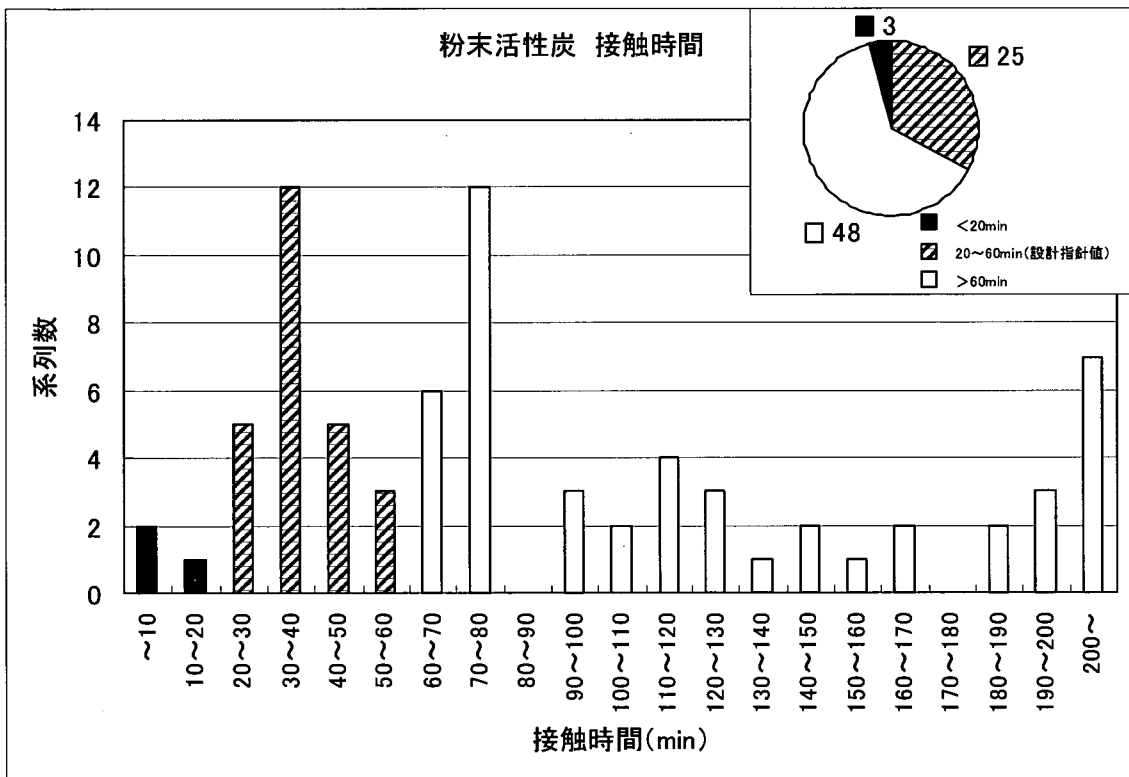


図 3-5-12 設計指針値と実績値の比較（粉末活性炭 接触時間）

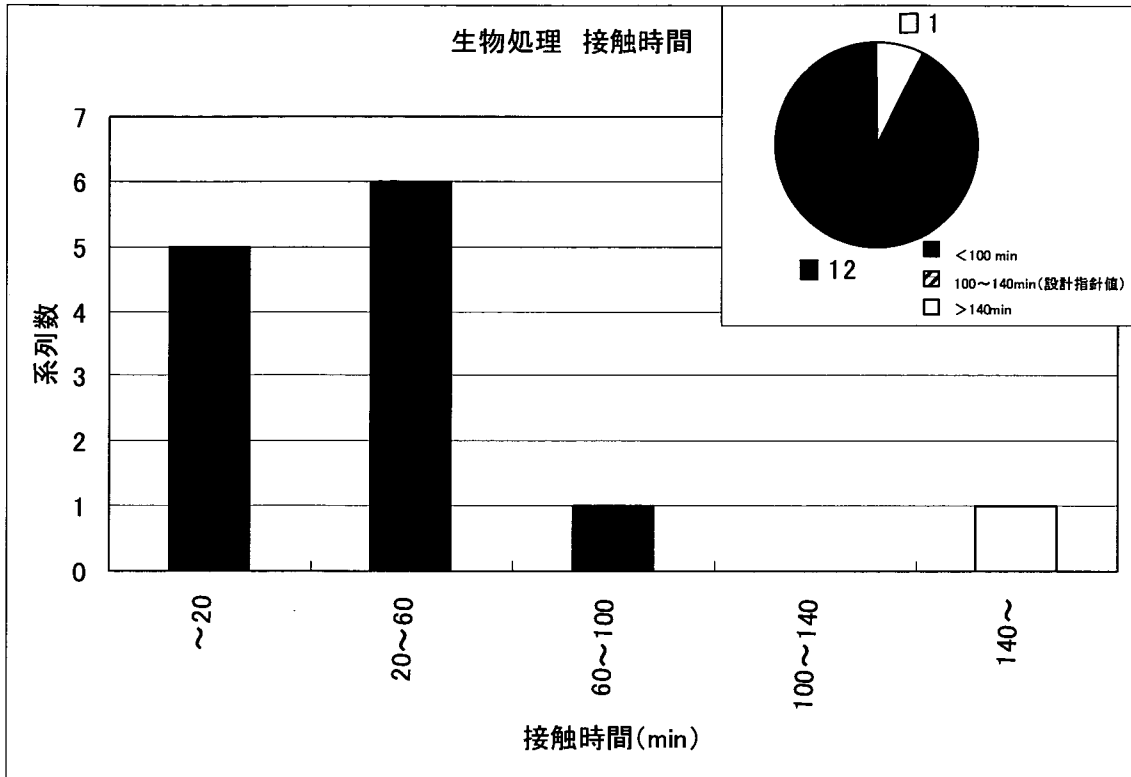


図 3-5-13 設計指針値と実績値の比較（生物処理 接触時間）

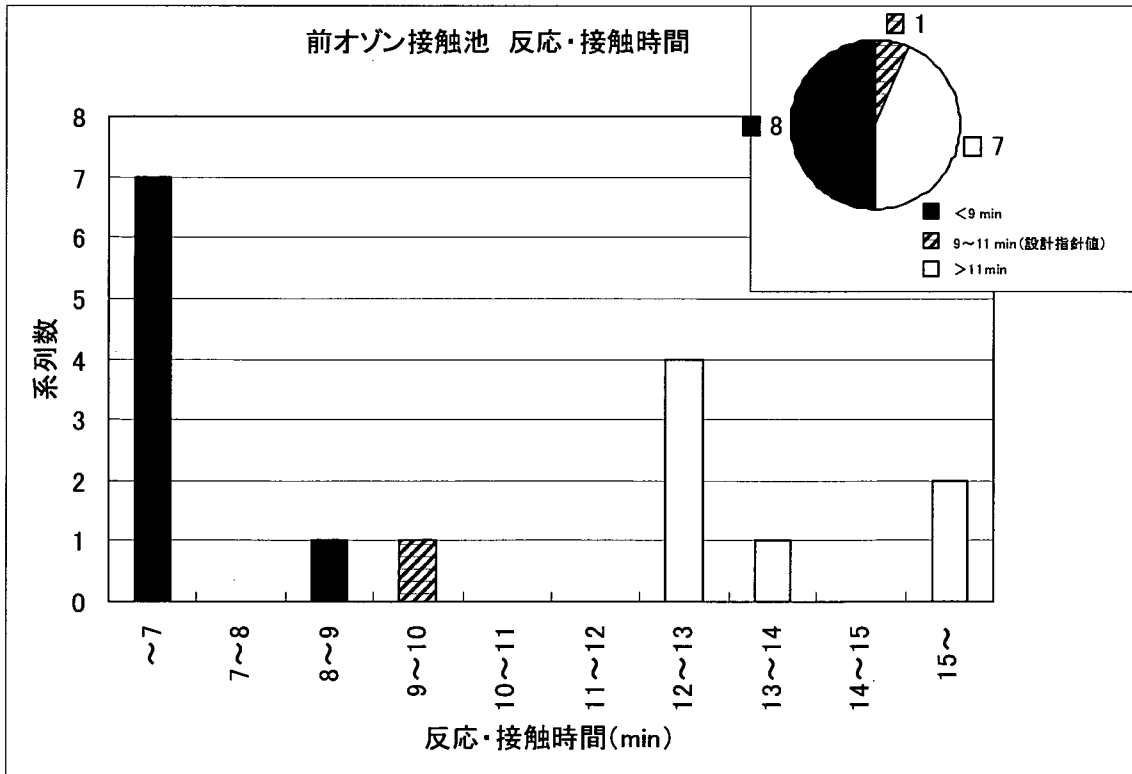


図 3-5-14 設計指針値と実績値の比較（前オゾン接触池 反応・接触時間）

※前オゾン：急速ろ過の前にオゾン処理があるもの。

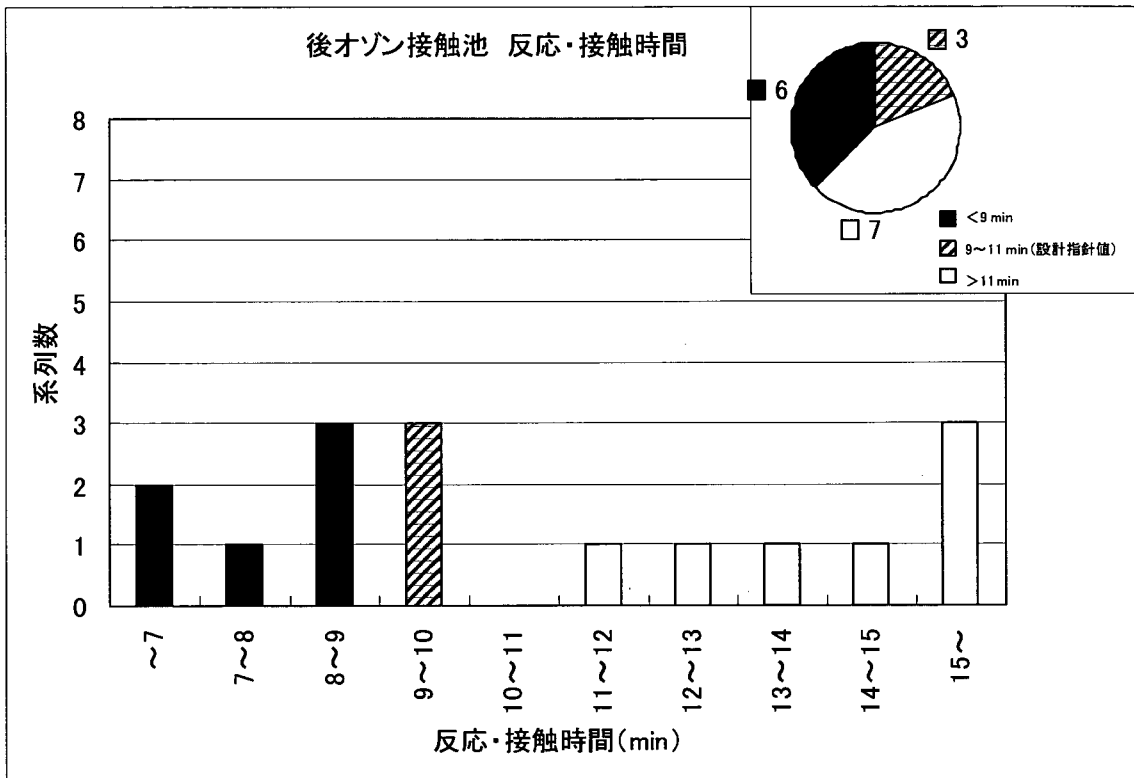


図 3-5-15 設計指針値と実績値の比較 (後オゾン接触池 反応・接触時間)
 ※後オゾン：急速ろ過の後にオゾン処理があるもの。

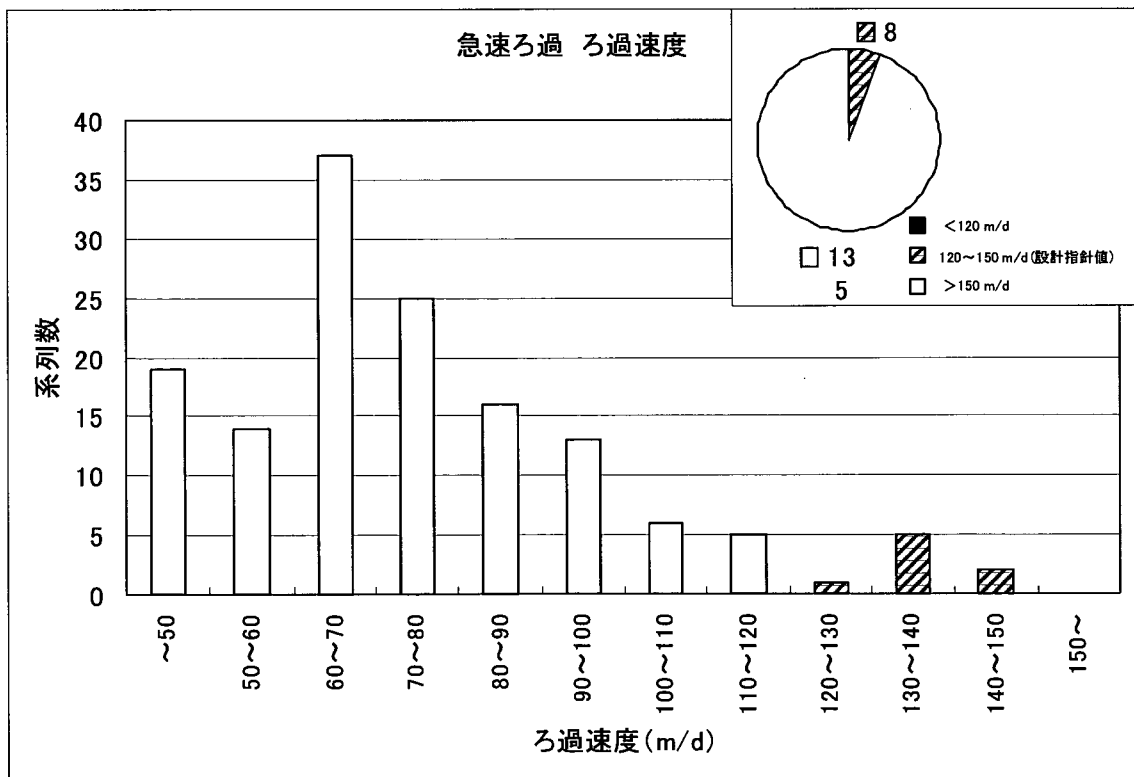


図 3-5-16 設計指針値と実績値の比較 (急速ろ過 ろ過速度)

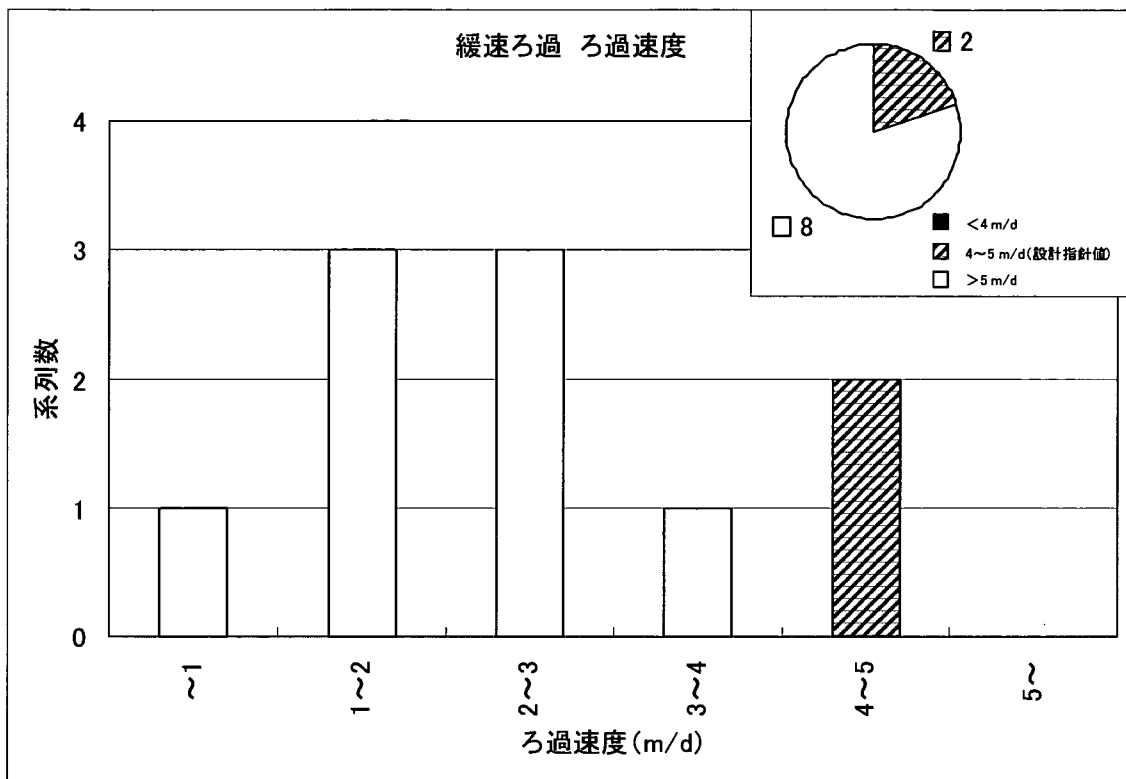


図 3-5-17 設計指針値と実績値の比較（緩速ろ過 ろ過速度）

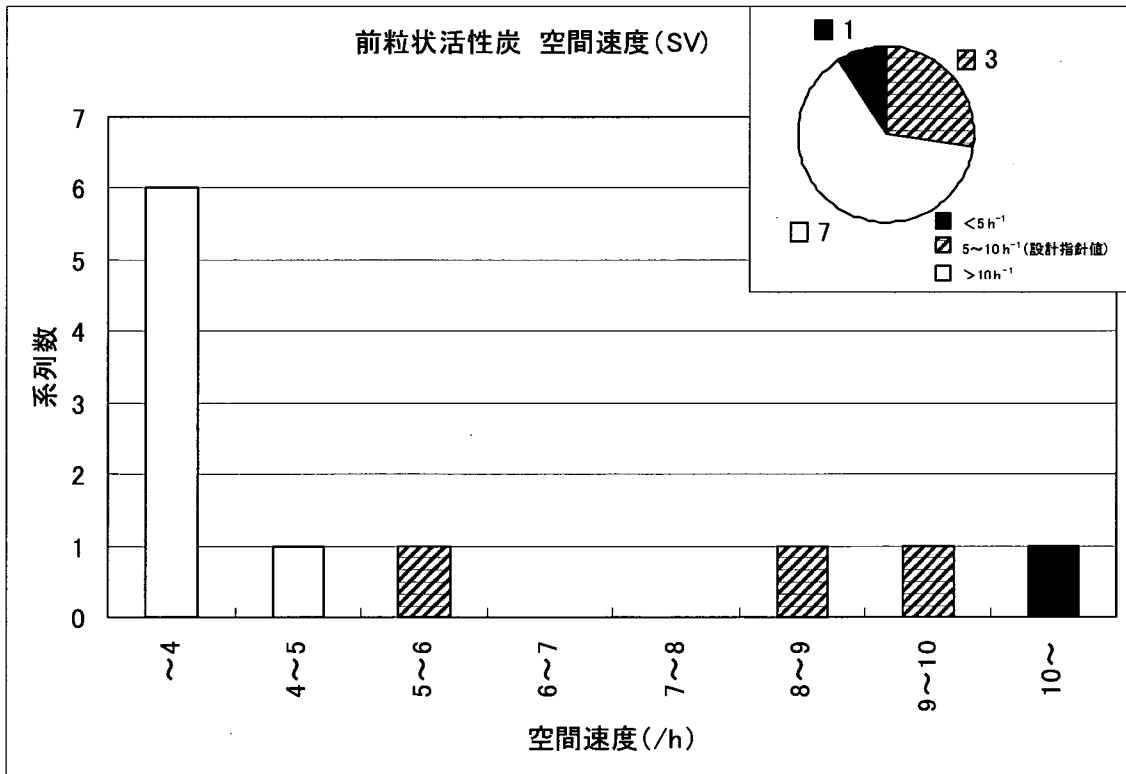


図 3-5-18 設計指針値と実績値の比較（前粒状活性炭 空間速度）

※前粒状活性炭：急速ろ過の前に粒状活性炭処理があるもの。

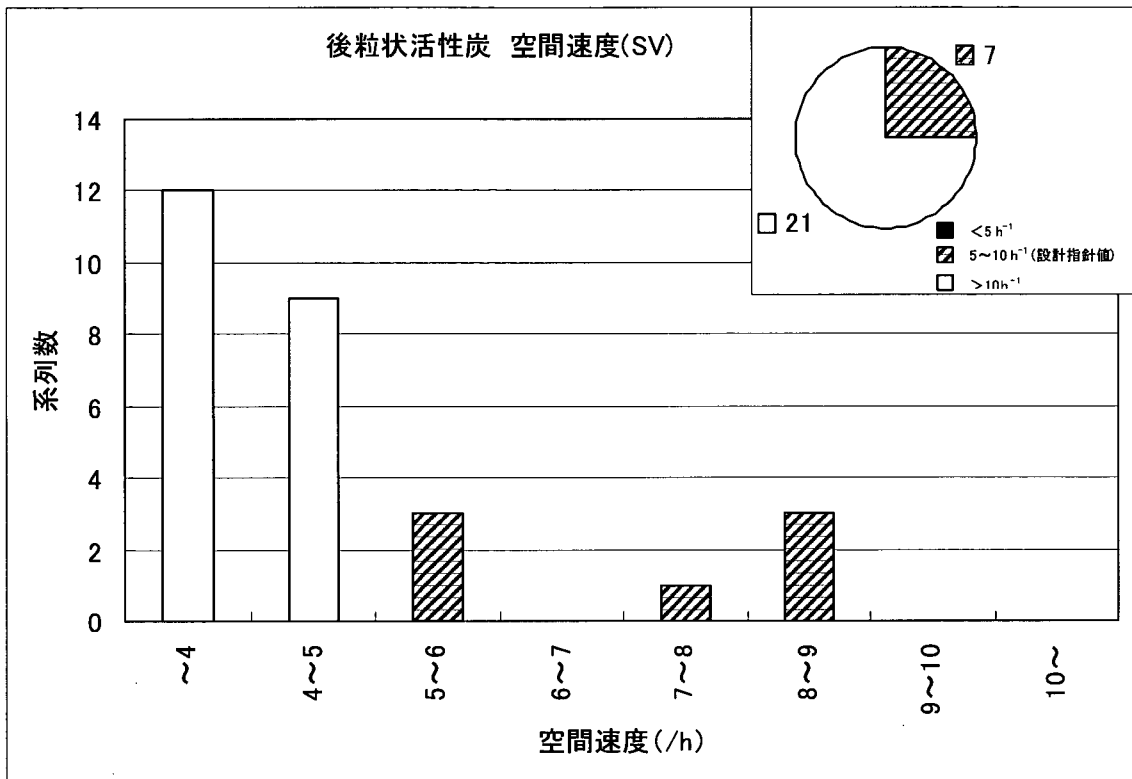


図 3-5-19 設計指針値と実績値の比較 (後粒状活性炭 空間速度)

※後粒状活性炭：急速ろ過の後に粒状活性炭処理があるもの。

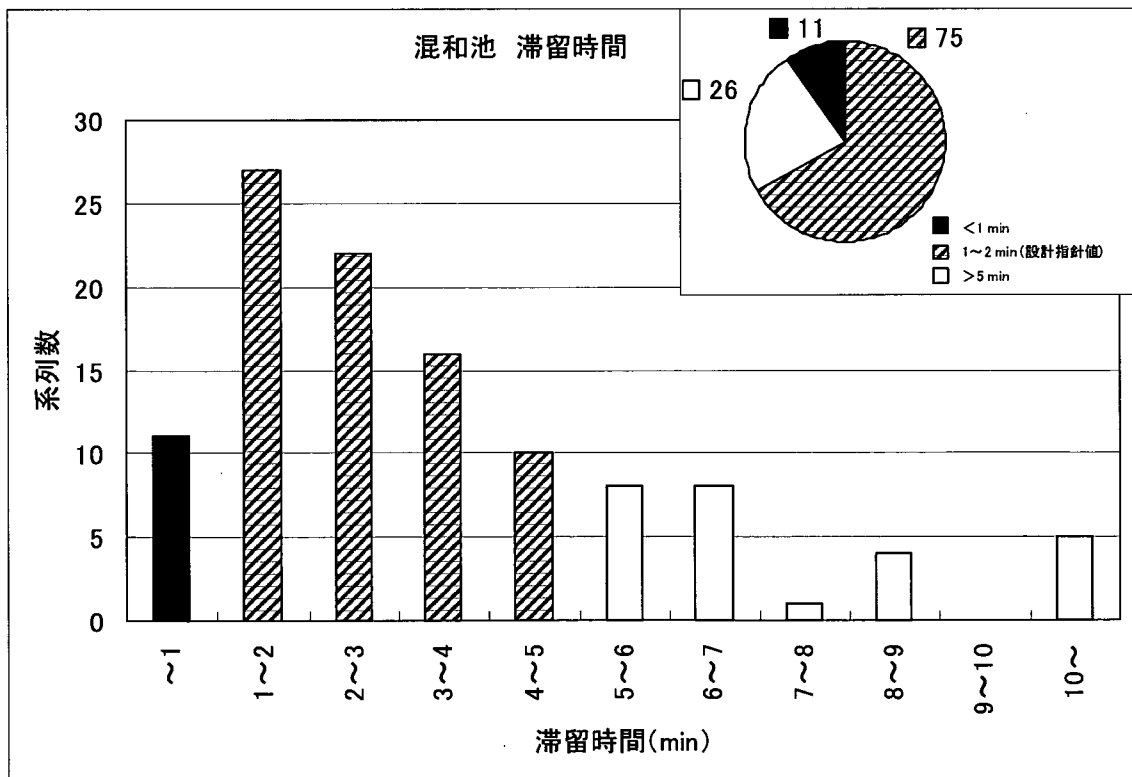


図 3-5-20 設計指針値と実績値の比較 (混和池 滞留時間)

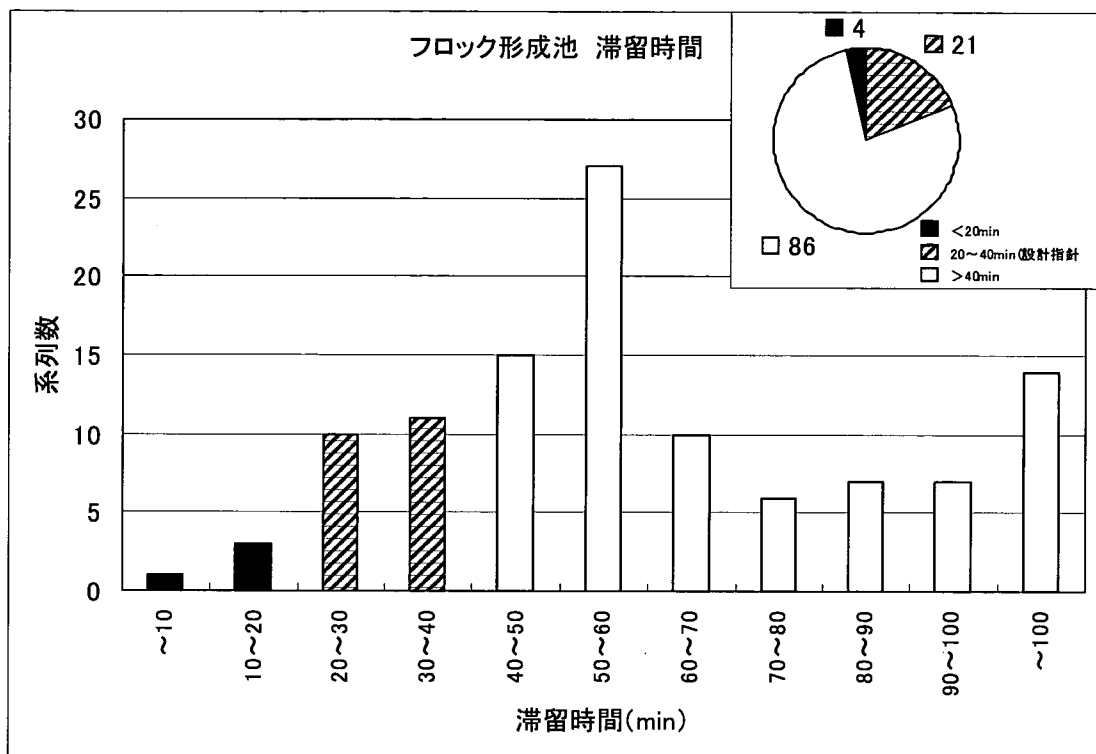


図 3-5-21 設計指針値と実績値の比較 (フロック形成池 滞留時間)

3. 5. 3 全国水道研究発表会講演集からの情報

これまで、全国各浄水場の年平均データ、日データ、時間データを用いた解析やヒアリングの結果に基づいて報告してきた。本項では、H9~18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報となっている。

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。

- ・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KMnO₄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KMnO₄消費量が0.4mg/L程度上昇することが示された。
- ・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。

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。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。

200738009B (2/2)

厚生労働科学研究費補助金
地域健康危機管理研究事業

健全な水循環の形成に資する浄水・管路技術に関する研究

平成17年度～19年度 総合研究報告書

(2/2)

主任研究者 藤原 正弘

平成20(2008)年3月

平成17年度～19年度 総合研究報告書(2/2) 目次

I 総合研究報告書

(参考資料)「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」
および「管路施設の機能診断・評価に関する研究」詳細報告資料
.....1

「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」

II-4 環境評価委員会

II-5 臭気評価委員会

「管路施設の機能診断・評価に関する研究」

1. 要約

2. アンケート調査

3. 老朽管路における水質劣化とその防止策等に関する研究

4. 管路の老朽度診断技術に関する研究

5. 基礎研究・基礎実験

6. 研究結果のまとめ

II 分担研究報告書 (該当なし)

III 研究成果の刊行に関する一覧表 (該当なし)

IV 研究成果の刊行物・別刷 (該当なし)

※参考

平成17年度～19年度 総合研究報告書(1/2) 目次

I 総合研究報告書

健全な水循環の形成に資する浄水・管路技術に関する研究1
藤原正弘

(参考資料)「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」

詳細報告資料.....29

I 総論

II-1 浄水システム委員会

II-2 水質評価委員会

II-3 機能評価委員会