

図-3.4 凝集沈殿、砂ろ過における蛍光トレーサーのマスバランス

4. 平成 11 年度研究成果の概要

4-1. 浄水場原水と実プラント規模の実験設備による浄水処理効果の確認

4-1-1. 実験方法

図-4.1 に実験プラントの概略フローを示す。原水には酒匂川表流水を用い、これに蛍光トレーサー粒子を約 600 個/mL の濃度になるように添加し、処理水量 1008 m³/d の規模の凝集沈澱設備に導いた。さらに、凝集沈澱処理水を後段の圧力式ろ過器及び砂ろ過カラム-活性炭カラムに通水し、各サンプリング点におけるトレーサー粒子数を計数した。

凝集沈澱工程における凝集剤注入率は、処理水濁度 1 度以下を目標として決定した。また、各ろ過設備の運転時間は 48 時間を 1 run とし、逆洗後再び通水工程に戻り実験を繰り返した。

(実験プラントの詳細は、平成 12 年度研究成果の章に示す。)

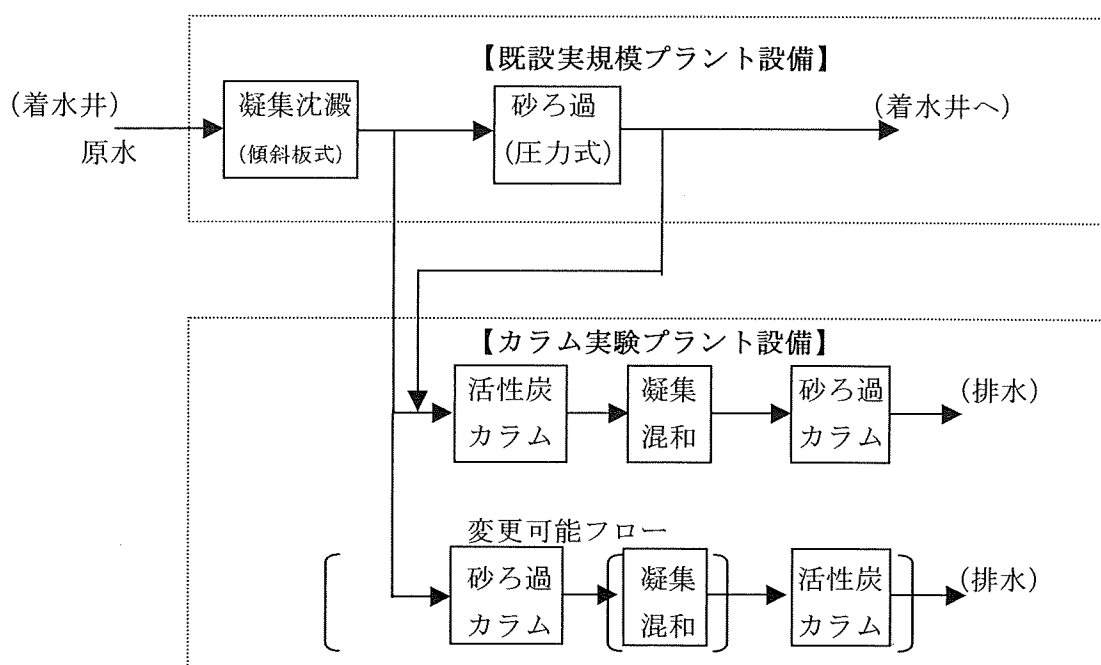


図-4.1 実験プラント設備の概略フロー

4-1-2. 実験結果

実施地の原水を用いた実プラント規模の沈澱池及びカラム実験プラントでの凝集沈澱、砂ろ過によるクリプトスポリジウムの除去性について、代替トレーサー粒子を用いて評価した結果を以下にまとめる。

(1) 凝集沈澱において

- ・ 低濁度原水における凝集沈澱の除去率は 0.5~1.0 log であった。また、原水の変動によってばらつきも大きかった。また、本実験条件では、凝集剤の注入率の方が滞留時間に比して除去率の向上に効果があった。
- ・ 凝集混和、フロック形成において、クリプト代替粒子と凝集剤の十分な混合（衝突）が非常に重要で、その混合（衝突）によりクリプトスポリジウムの除去性は左右されることが推察できた。
- ・ トレーサー粒子の除去性は濁度の質にも左右されるが、原水濁度が高い方がより高い

除去率が得られた。

(2) 圧力式ろ過器において

- ・ 本実験においては、ばらつきが大きいものの、通水 LV = 120 m/d で 0.5~1.5 log、240 m/d で 0.5 log 程度のトレーサー粒子除去率となった。
- ・ トレーサー粒子の除去は、濁度及び 3~7 μm 微粒子の除去性との間に弱い相関が認められた。
- ・ 実験期間中、通水日数の経過に伴いトレーサー粒子の除去率の低下が見られたが、この要因の一つとして、水温の影響が認められた。

(3) 活性炭カラムにおいて

- ・ 活性炭層によるトレーサー粒子の除去率は、通水 LV = 80~120 m/d で 1.0~2.0 log、240 m/d で 0.5~1.5 log、360 m/d で 0.5~1.0 log、480 m/日で 0.5 log と通水 LV が高くなればその除去率は低下する。
- ・ トレーサー粒子の除去率と濁度および 3~7 μm 微粒子除去性との相関は認められなかった。

(4) 砂ろ過カラムにおいて

- ・ 砂ろ過カラムによるトレーサー粒子の除去率は、通水 LV = 120m/d で 1.0 log、200~240 m/d で 0.5~1.0 log と通水 LV が高くなればその除去率は低下する。
- ・ トレーサー粒子の除去率と濁度および 3~7 μm 微粒子除去性との相関は認められなかった。

(5) 浄水工程全体における除去率

- ・ 凝集沈澱+砂ろ過+活性炭+砂ろ過のフローにおいては、トレーサー粒子は約 3.0 log 程度の除去性が得られる。

(6) ろ過池から漏出するトレーサー粒子について

- ・ ろ過池から漏出するトレーサー粒子の存在形態は、ほとんどがトレーサー粒子単独であるが、洗浄直前のろ過抵抗の高い状態では、ブロック化したトレーサー粒子もまれに存在することが分かった。

5. 平成 12 年度研究報告

研究の最終年度である平成 12 年度は、クリプトスポリジウムの代替トレーサーとしてこれまで使用してきた PMMA (ポリメチルメタアクリレート) 蛍光粒子に加え、比重の若干異なる PS (ポリスチレン) 蛍光粒子を用い、実プラント規模 (最大、約 1,500 m³/日) の凝集沈澱設備とカラム実験プラントにより、春～秋期にかけての各処理工程における処理性の評価を行った。

5-1. 実験方法

(1) 実験場所

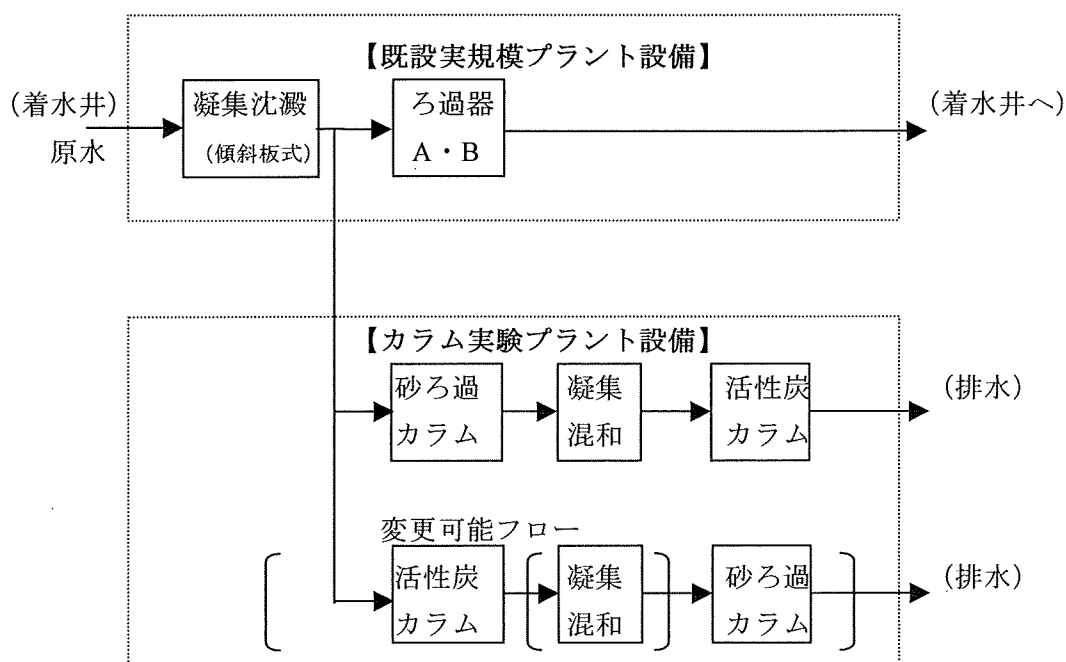
神奈川県内広域水道企業団西長沢浄水場内

(2) 実験装置

既設実規模プラント設備 (最大約 1,500 m³/d)

カラム実験プラント設備 (最大 60 m³/d : LV 480 m/d)

a) 実験プラント概略フロー



b) 実験装置の仕様

【既設実規模プラント設備】

- ・トレーサー貯留タンク (攪拌機付き) : 有効容量 200 L
注入容量 (55 mL/分)

・凝集沈澱池

- 凝集混和池 : タービン式 (1 段)
滞留時間 約 11.4 分 (1,008 m³/d の時)

- フロック形成池 : タービン式 (1 段)

蛍光トレーサー数	原水	蛍光顕微鏡	3 回/日
	凝集沈澱水	蛍光顕微鏡	3 回/日
	カラム活性炭処理水	蛍光顕微鏡	3 回/日
	カラム砂ろ過処理水	蛍光顕微鏡	3 回/日

(4) 実験装置の運転条件

凝集条件 : 最適凝集条件

目標濁度設定とする。目標濁度＝凝集沈澱処理水 1.0 度以下

カラム活性炭 : 通水条件は、所定通水 LV でろ抗 (1.5 m) 又は通水時間 (2～3 日) による洗浄とする。

砂ろ過 : 通水条件は、所定通水 LV でろ抗 (1.5 m) 又は通水時間 (2～3 日) による洗浄とする。

(5) クリプト代替微粒子

クリプトスポリジウム代替粒子として、ポリメチルメタアクリレート (PMMA) 粒子とポリスチレン (PS) 粒子を用いて確認を行った。両者は比重が若干異なり、PS 粒子の方がクリプトスポリジウムに近いものと考えられる。

表-5.1 各トレーサーの性状

	蛍光トレーサー A	蛍光トレーサー B
メーカー名	トレーサー：総研化学 (株) 蛍光染色：日本光研工業 (株)	トレーサー：総研化学 (株) 蛍光染色：日本光研工業 (株)
材質	PMMA ポリメチルメタアクリレート	PS ポリスチレン
真比重	1.19 g/cm ³	1.05 g/cm ³
ゼータ電位	-29 mV (pH 6.6)	-31 mV (pH 5.9)
色	緑 (但し、昨年度まで青) (UV 励起蛍光下)	青 (UV 励起蛍光下)
個数	約 10 ¹¹ 個/L (乳白液状)	約 10 ¹¹ 個/L (乳白液状)
粒子径	5.0±0.5 μm	5.0±0.5 μm
添加濃度	約 600 個/mL	約 600 個/mL

(6) 微粒子カウンターによるクリプト代替粒子数の測定

微粒子カウンターによる計測値の内、粒子径 3～7 μm の値がクリプト代替微粒子数に該当するものとした。

(7) クリプト代替微粒子の測定法

クリプト代替微粒子の測定は以下の手順によった。

- ・ 採水したサンプルを 25 mm φ ポリカーボネートフィルター上に吸引ろ過する。ろ過するサンプル量は、1 回の計数値が概ね 20 個以上になるよう採水点により適宜調整する。

↓

- ・ フィルターをスライドガラス上に移す。

↓

- ・ フィルター全面を 200 倍で検鏡し、透過光と蛍光 (UV 励起) を同時に照射して緑及び青色に観察される約 5 μm の粒子の個数を計数する。

5-2. 実験内容

(1) 各処理工程におけるトレーサー粒子の処理性比較

- 1) 凝集沈澱工程における処理性の比較
- 2) 急速ろ過工程における処理性の比較
- 3) 活性炭吸着工程における処理性の比較

(2) 凝集沈澱工程におけるトレーサー粒子の処理特性に関する検討

- 1) 原水濁度とトレーサー除去率の関係
- 2) 原水水温とトレーサー除去率の関係

(3) 急速ろ過工程におけるトレーサー粒子の処理特性に関する検討

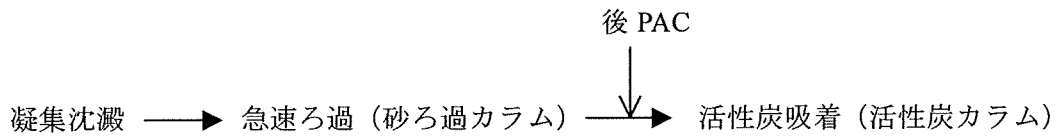
- 1) 原水濁度および原水水温とトレーサー除去率の関係
- 2) 砂ろ過カラムにおけるろ材熟成の影響
- 3) ろ層内部におけるトレーサー抑留状況の調査
- 4) トレーサー数と濁度および微粒子カウンター粒子数の関係

5-3. 実験条件

実験プラントの通水フローとして、次の 2 パターンを設定し、各種フローパターンと運転条件の組み合わせを変化させながら、データ収集を行った。

但し、凝集沈澱設備は 4 月から 11 月にかけてほぼ連続で運転を行ったが、ろ過設備については設備の都合上、9 月から 11 月にかけての実験となった。ろ過設備が稼働している期間における各 Run 毎の運転条件を表-5.2 に示す。

[フローパターン1]



[フローパターン2]

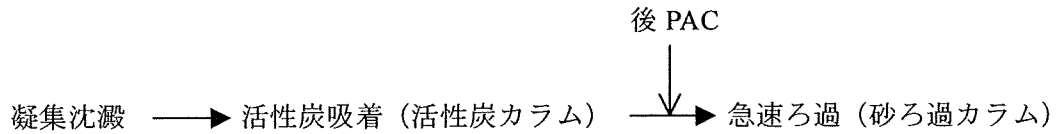
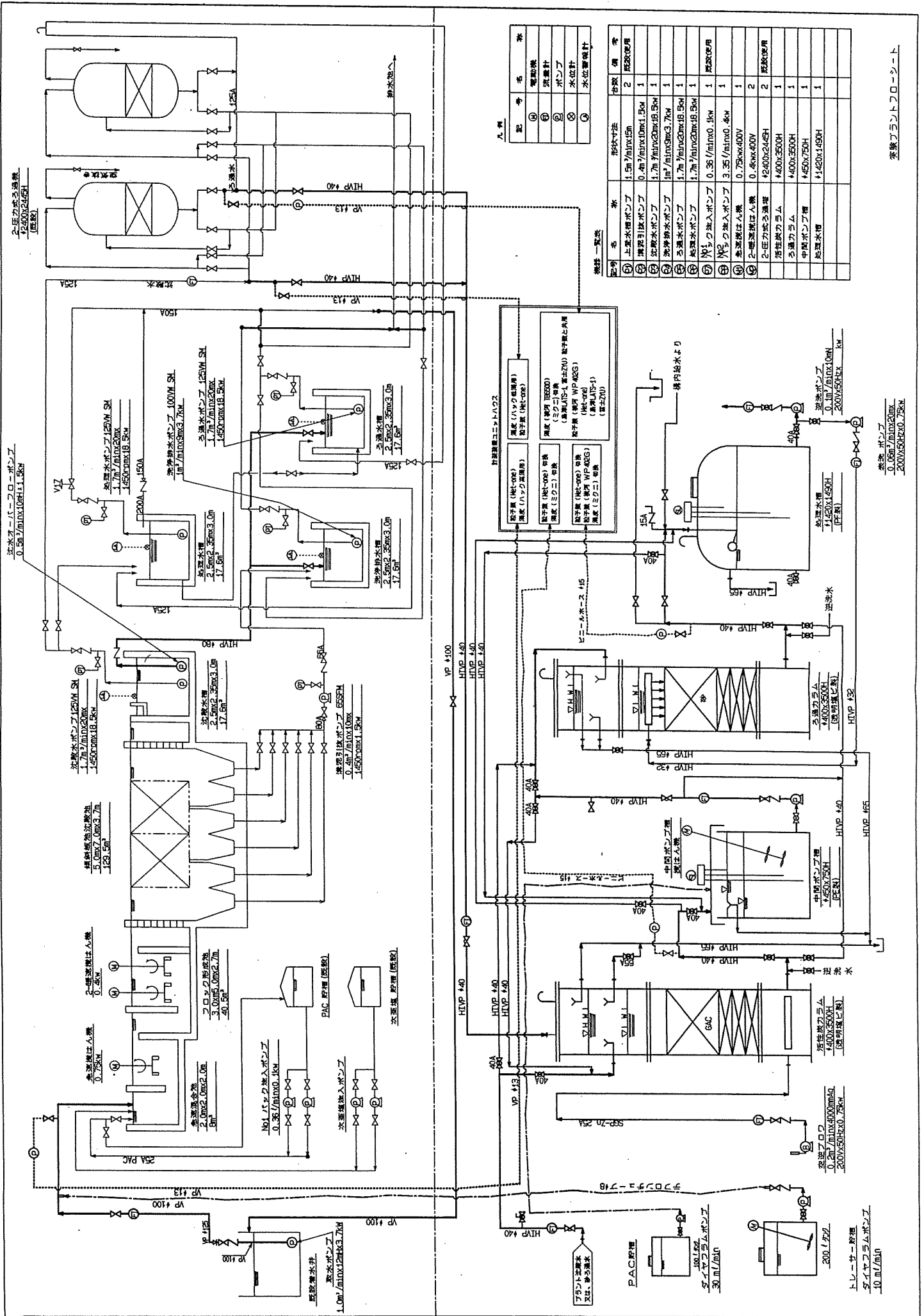


表-5.2 実験条件

No.	沈澱池 処理水量 (m ³ /日)	PAC 注入率 (倍) *	フロー パターン	ろ過 カラム		活性炭 カラム	
				LV (m/日)	通水 時間 (h)	LV (m/日)	通水 時間 (h)
Run 1	1008	2	1	200	48	120	48
Run 2	1008	2	1	200	48	120	48
Run 3	1008	2	1	200	48	120	48
Run 4	1008	2	1	200	48	120	48
Run 5	1008	2	1	200	48	120	48
Run 6	1008	2	1	200	48	120	48
Run 7	1008	2	1	200	48	120	48
Run 8	1008	2	1	200	48	120	48
Run 9	1008	2	1	120	48	80	48
Run 10	1008	2	1	120	24	80	24
Run 11	1008	2	1	120	48	80	48
Run 12	1008	2	1	120	48	80	48
Run 13	1008	2	1	120	48	80	48
Run 14	1008	2	1	120	48	80	48
Run 15	1008	2	1	120	48	80	48
Run 16	1008	2	1	120	48	80	48
Run 17	1008	2	2	120	48	240	48
Run 18	1008	2	2	120	48	240	48
Run 19	1008	2	2	120	48	240	48
Run 20	1008	2	2	120	48	240	48
Run 21	1008	2	2	120	48	240	48
Run 22	1008	2	2	120	48	240	48

*: 西長沢浄水場における実注入率に対する倍数



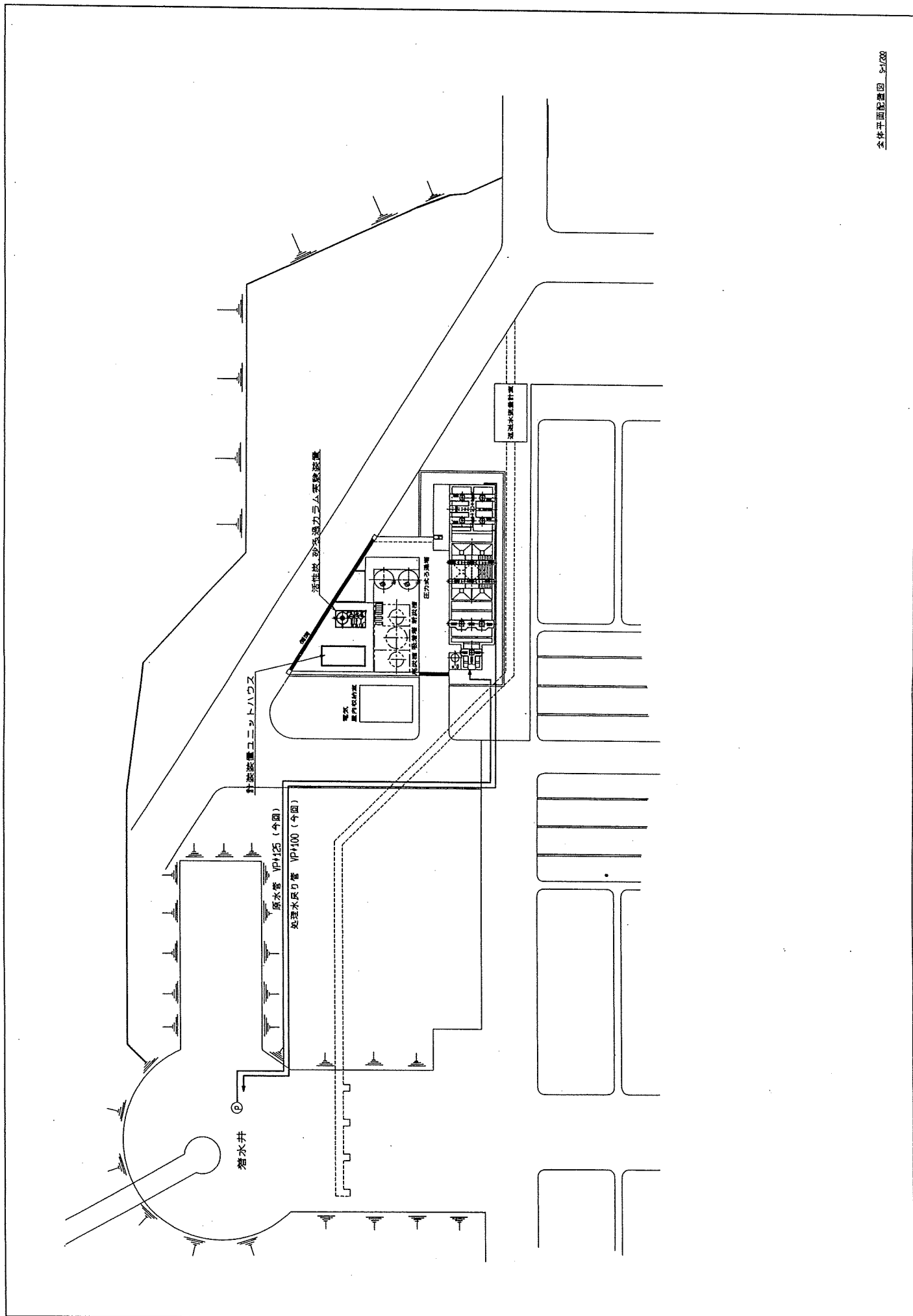
九 四

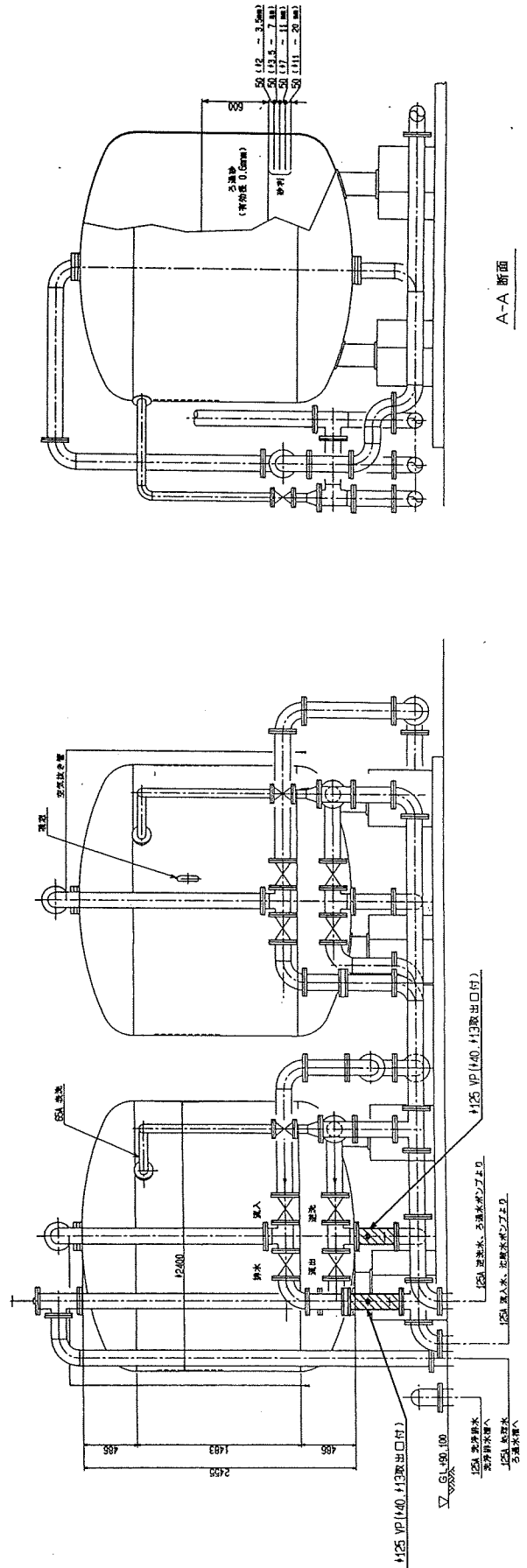
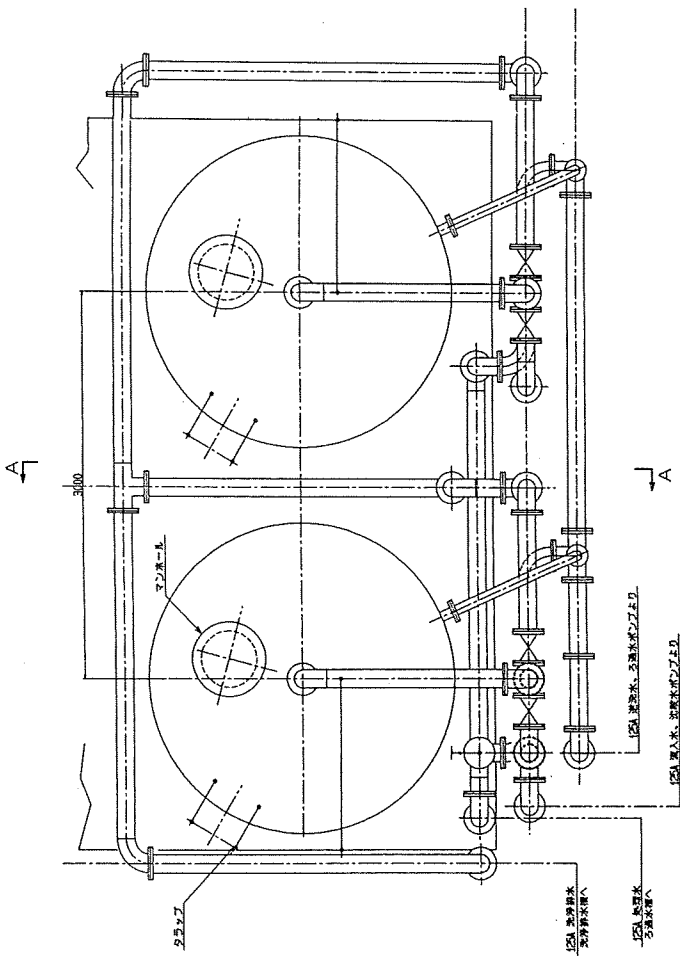
記号	名	機	数
①	電動機		
②	流量計		
③	ポンプ		
④	水位計		
⑤	水位警報計		

機材一覧表

区分	名	仕様	台数	備	考
①	上水ポンプ	1.5m ³ /min×1.5MPa	2	既設使用	
②	浄水ポンプ	0.4m ³ /min×0.1MPa	1		
③	加圧水ポンプ	1.7m ³ /min×0.2MPa	1		
④	加圧水ポンプ	1.7m ³ /min×0.3MPa	1		
⑤	加圧水ポンプ	1.7m ³ /min×0.2MPa	1		
⑥	加圧水ポンプ	1.7m ³ /min×0.2MPa	1		
⑦	加圧水ポンプ	0.35m ³ /min×0.1kPa	1	既設使用	
⑧	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑨	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑩	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑪	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑫	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑬	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑭	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑮	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑯	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑰	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑱	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑲	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		
⑳	浄水ポンプ	0.1m ³ /min×0.2MPa	1		

実験コントロールシート





5-4. 実験結果及び考察

5-4-1. 各処理工程におけるトレーサー粒子の処理性比較

本年度は先ず、従来本研究において使用してきた PMMA トレーサー（比重：1.19、トレーサーA）に加え、新たに導入した比重がよりクリプトスポリジウムに近いと考えられる PS トレーサー（比重：1.05、トレーサーB）を同時に添加し、両者の処理性を比較した。

(1) 凝集沈澱工程における処理性の比較

各処理工程における PMMA トレーサーおよび PS トレーサー累積除去率の測定結果を図-5.1～5.4 に示す。なお、データは Run 1 から Run 16 にかけてのものである。

凝集沈澱における除去率を見ると、run により幅があるものの、平均値では PMMA トレーサーが 0.63 log、PS トレーサーが 0.57 log となり、比重のやや大きい PMMA トレーサーの除去率が僅かに高かった。

	PMMA トレーサー	PS トレーサー
凝集沈澱工程	0.63 log	0.57 log

ただし、原水中の全粒子中に占めるトレーサーの比率はごく小さく、トレーサーの比重差が生成したフロックの沈降速度に及ぼす影響は小さいと考えられる。除去率の差は、トレーサーの表面性状や分散性の僅かな違い等が凝集およびフロック形成メカニズムに影響を与えているものと推察される。

(2) 急速ろ過工程における処理性の比較

続く急速ろ過工程における沈澱処理水に対する平均除去率は、LV の違いによりそれぞれ下表のとおりであった。

LV = 120 m/d の場合で PMMA トレーサーの除去率が若干高くなった。また、LV による差は、0.2 log ～ 0.3 log 程度であった。

	PMMA トレーサー	PS トレーサー
LV = 120 m/d	2.07 log	1.93 log
LV = 200 m/d	1.73 log	1.74 log

(3) 活性炭吸着工程における処理性

続く活性炭吸着工程におけるろ過処理水に対する平均除去率は下表のとおりであった。

ここでも、トレーサーAの除去率が若干高くなった。ただし、LV と除去率との間に妥当な関係は認められなかった。実験条件の設定の都合上、活性炭の LV と対応して前段の急速ろ過の LV も変化しており、活性炭層への負荷が異なるため、直接比較はできないと考えられる。

	PMMA トレーサー	PS トレーサー
LV = 80 m/d	0.40 log	0.23 log
LV = 120 m/d	0.62 log	0.58 log

(4) まとめ

今回の実験範囲内においては、図-5.5 にまとめたように、全工程を通じて PMMA トレーサーの方が PS トレーサーよりも除去率が高くなる傾向が認められた、しかしながら、その差がごく僅かであることを考慮すると、今後同様の実験検討を行う際には、より比重がクリプトポリジウムに近く、また安全側に評価される PS トレーサーの方を用いるのが妥当であると考えられる。

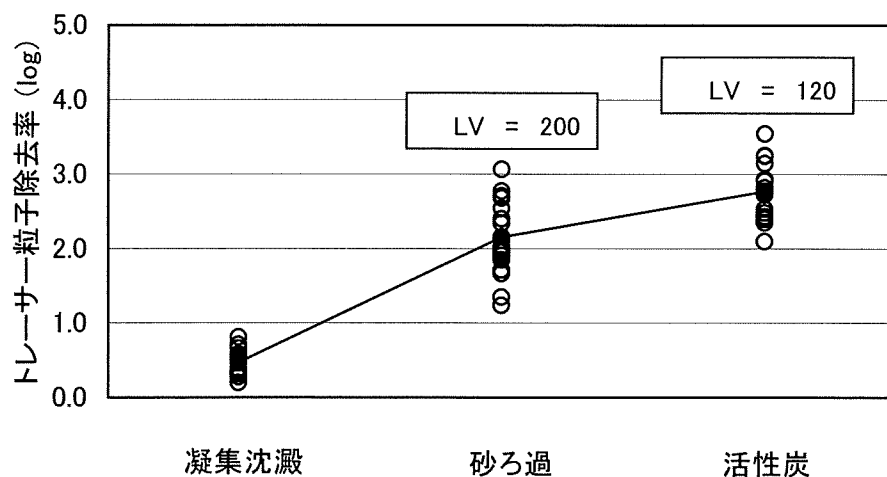


図-5.1 各処理工程における PMMA トレーサーの累積除去率 (ろ過 LV = 200 m/d)

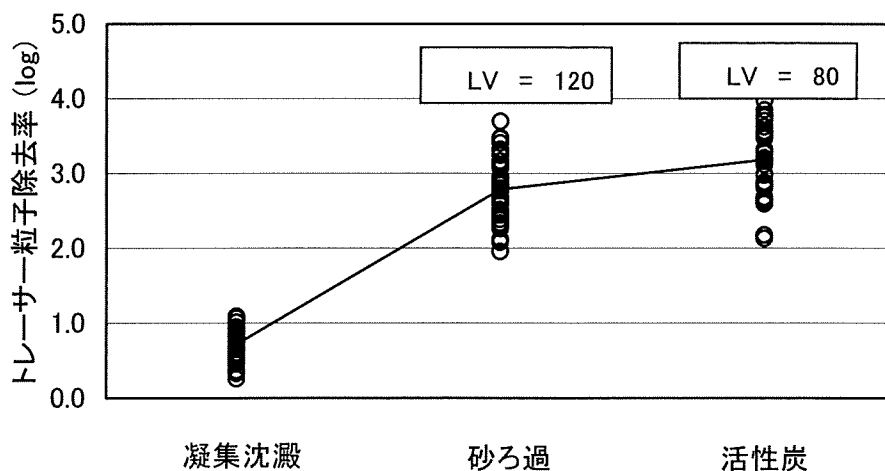


図-5.2 各処理工程における PMMA トレーサーの累積除去率 (ろ過 LV = 120 m/d)

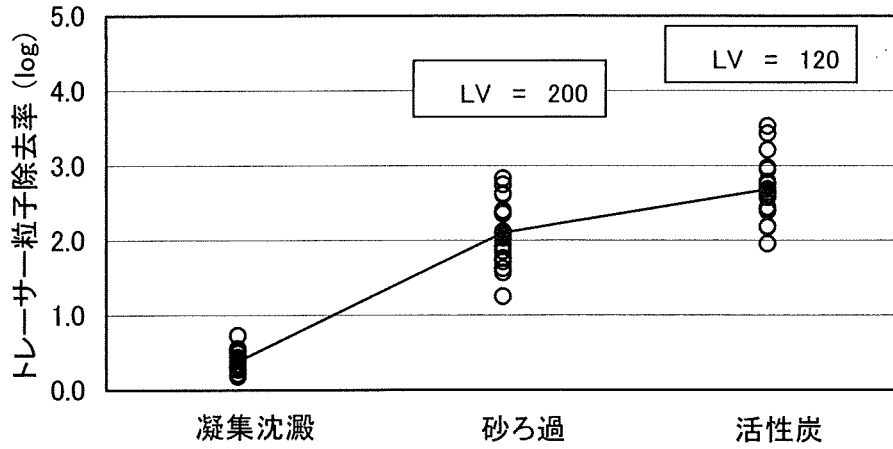


図-5.3 各処理工程における PS トレーサーの累積除去率 (ろ過 LV = 200 m/d)

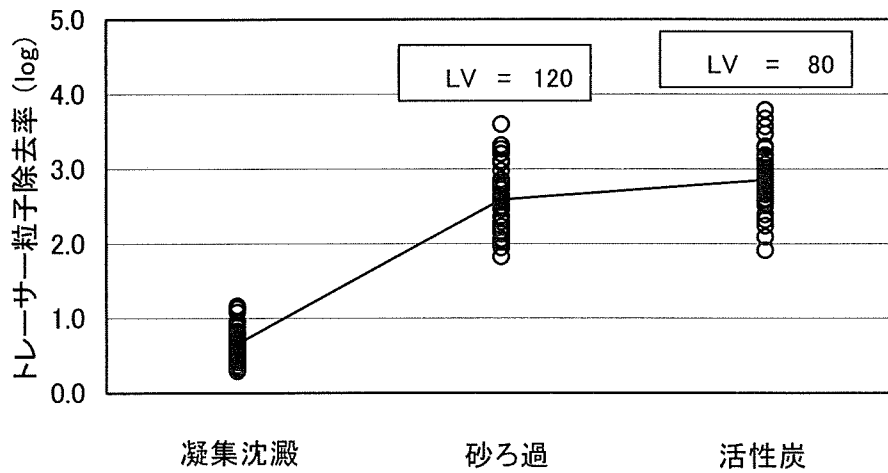


図-5.4 各処理工程における PS トレーサーの累積除去率 (ろ過 LV = 120 m/d)

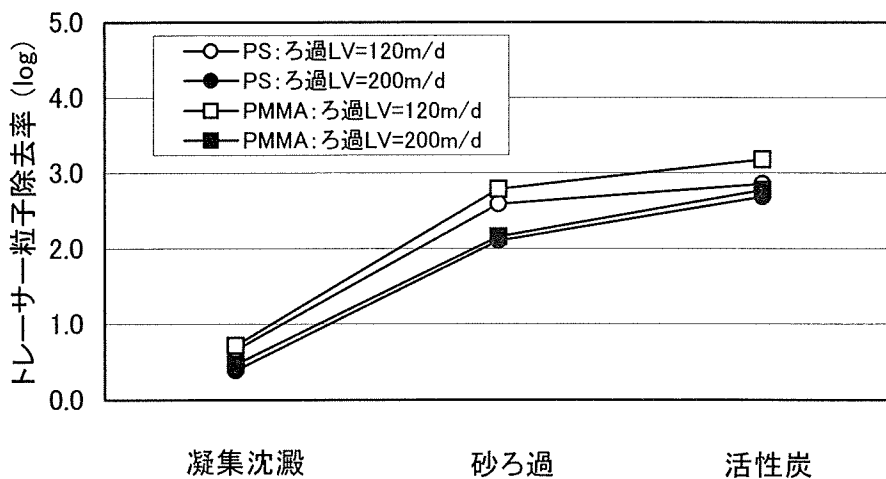


図-5.5 各処理工程におけるトレーサーの累積除去率 (平均値)

5-4-2. 凝集沈澱工程におけるトレーサー粒子の処理特性に関する検討

1年間を通じた実験の結果、沈澱池におけるトレーサー粒子の処理性は諸条件により大きく変動することが確認された。そこで、ここでは、処理性に影響を及ぼす因子として原水濁度と水温に注目し、各々の関係から運転管理上の留意点の検討を行った。

(1) 原水濁度とトレーサー除去率の関係

図-5.6 に原水濁度と沈澱池におけるトレーサー粒子除去率の関係を示す。この図より原水濁度が低いほど除去率が低下する傾向が認められる。一般に低濁時には、沈降可能な大型のフロックを作るために ALT 比が高い条件でのフロック形成となることから、フロックが膨潤で密度も小さくなり沈降効率が低下する。さらに、濁質のフロックへの取り込みも吸着型フロック形成となるために、濃度の低いトレーサー粒子とアルミニウムフロックの衝突、吸合の効率も低下し、このような結果になるものと考えられる。

従って、低濁時には特に急速混和池における攪拌条件に留意し、トレーサー粒子と PAC を速やかに混合して凝集を確実に行うことが、その後のフロック形成池におけるフロックへの取り込み効率を向上させる上で重要であると考えられる。また、未凝集の粒子は、後段のろ過工程においても有効な除去が行われにくいと推察されるため、こと点からも凝集操作には特に注意を払う必要があると考えられる。

(2) 原水水温とトレーサー除去率の関係

図-5.7 に原水水温と沈澱池におけるトレーサー粒子除去率の関係を示す。水温が低いほど高い除去率が得られにくくなっており、粘性の変化に起因する沈澱池の一般的な処理特性が示されている。また、低水温期は比較的原水濁度も低いために、前述の低濁度による沈澱効率の低下も一因となっていると考えられる。

図-5.6 で水温 15°C の前後で除去率を分けて示したが、これより同じ低濁度であっても低水温時により除去率が低下することがわかり、トレーサー粒子の効率的な除去を目指す上では、低水温でかつ低濁度の時に運転管理上最も留意が必要であることが示された。

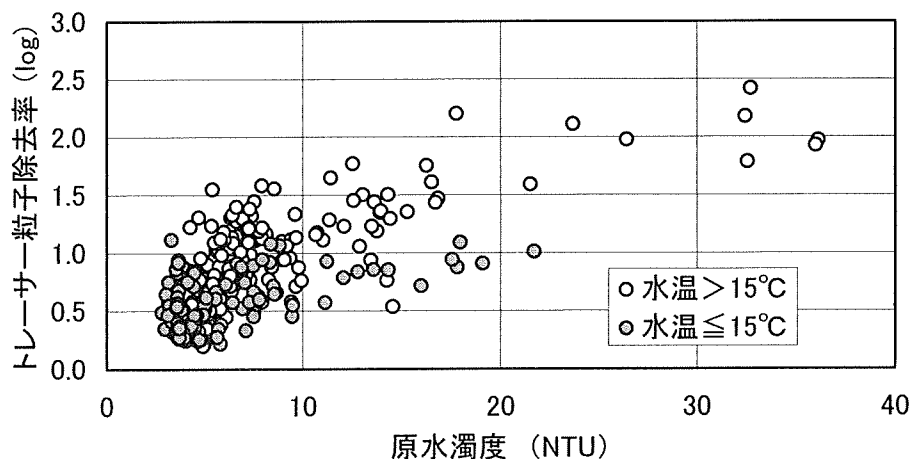


図-5.6 原水濁度と沈澱池除去率の関係 (PMMA トレーサー)

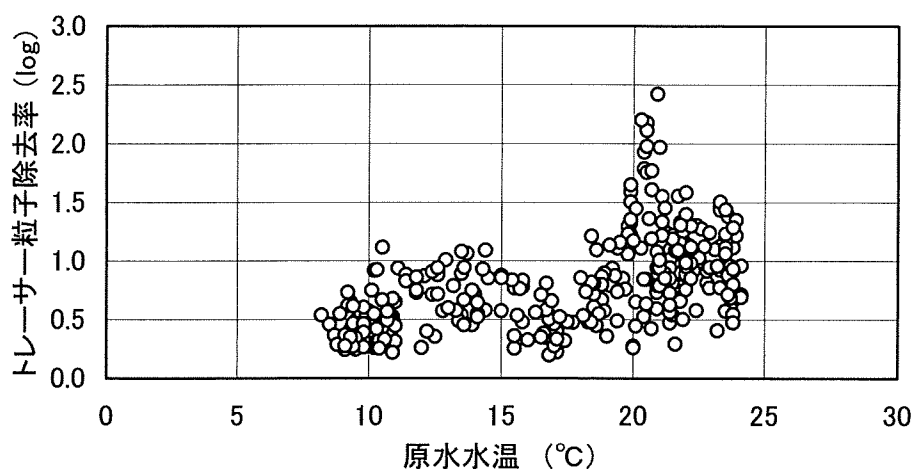


図-5.7 原水水温と沈澱池除去率の関係 (PMMA トレーサー)

5-4-3. 急速ろ過工程におけるトレーサー粒子の処理特性に関する検討

これまで得られた実験結果をもとに、急速ろ過工程における処理性に影響を及ぼす要因について各種検討を行った。また、トレーサー数と濁度および微粒子数との関係を考察した。

(1) 原水濁度および原水水温とトレーサー除去率の関係

図-5.8 に原水濁度とろ過カラムにおけるトレーサー粒子除去率の関係を、図-5.9 には原水濁度とろ過処理水中のトレーサー数との関係をそれぞれ示す。この図より原水濁度が低いほど除去率の範囲が除去率の低い方向に広がっている様子がわかる。このことは、原水濁度が低いほど処理が不安定になりやすいことを示しており、沈澱池と同様に、低濁時における水質管理が特に重要であると考えられる。

また、図-5.10 に示すように、原水水温との関係を見ても、沈澱池と同様に水温が低下するほど除去率が低下することがよりはっきりと認められることから、急速ろ過池においてもやはり、トレーサー粒子の効率的な除去を継続するためには、低水温でかつ低濁度の時の運転管理に最も留意が必要であるといえる。

(2) 砂ろ過カラムにおけるろ材熟成の影響

入れ替え直後はろ材の表面性状がろ過処理に最適な状態となっていないため、表面性状が安定するまでの期間はろ過処理性が悪化することが懸念される。そこで、ろ材(けい砂)を新品に入れ替えた直後と、実験を継続した時期におけるろ過処理性の比較を行った。

結果を図-5.11 に示す。今回の実験においては入れ替え直後の除去率の悪化は認められず、当初より一定の除去率が得られているが、この点および逆洗直後の初期漏出に関しては、今後さらに検討を行っておく必要があると考えられる。

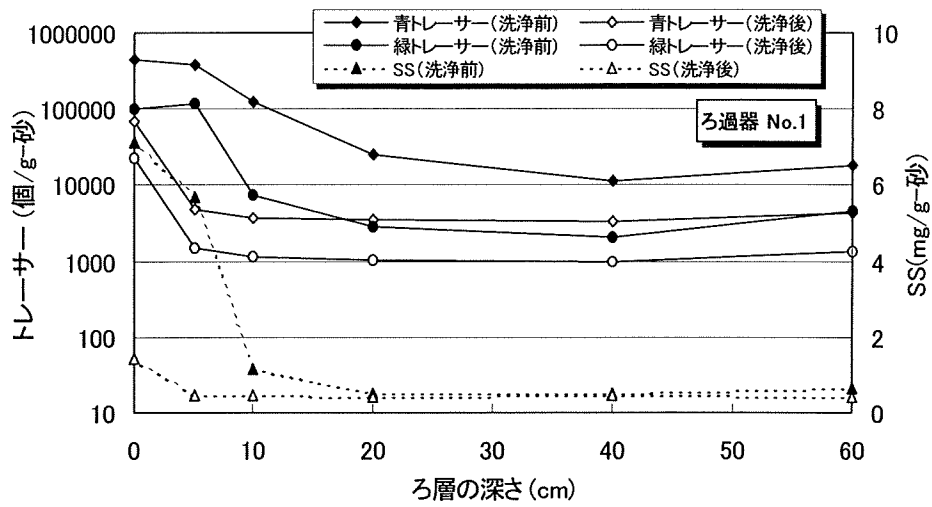


図-5.8 原水濁度とろ過池におけるトレーサー除去率の関係 (PMMA、ろ過 LV = 120 m/d)

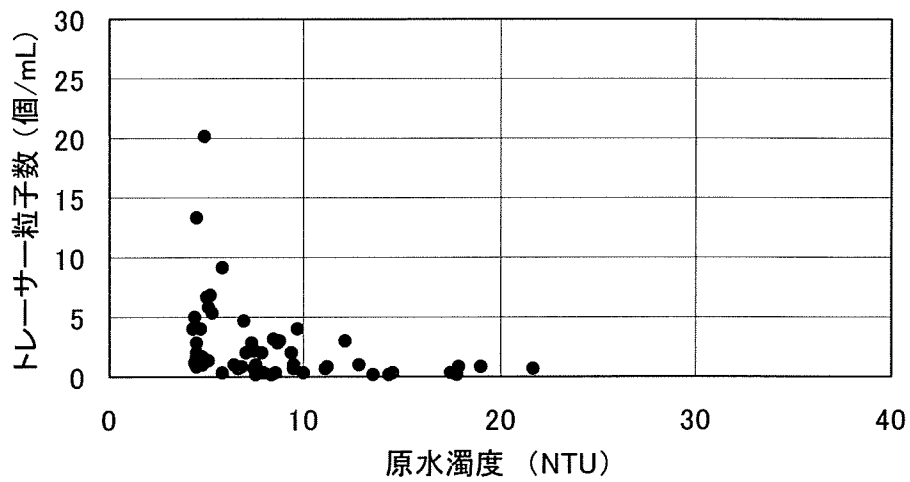


図-5.9 原水濁度と処理水トレーサー数の関係 (PMMA、ろ過 LV = 120 m/d)

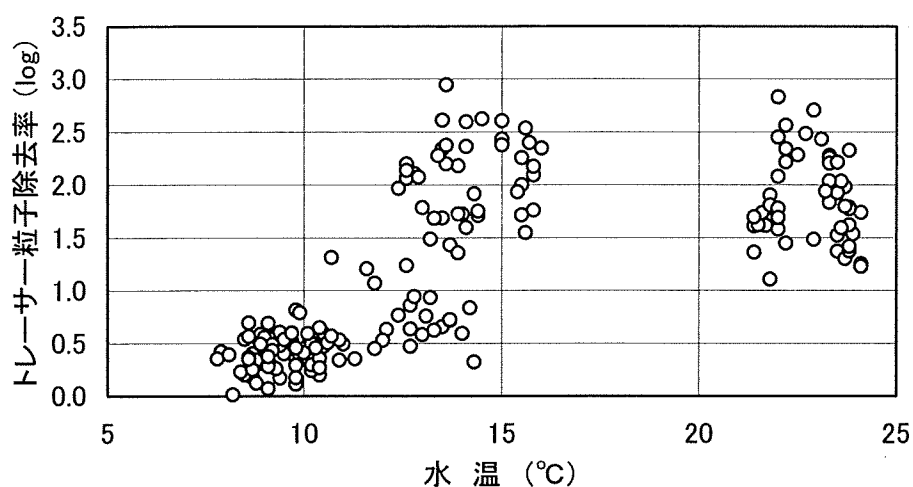


図-5.10 原水水温とろ過池におけるトレーサー除去率の関係 (PMMA、ろ過 LV = 120 m/d)

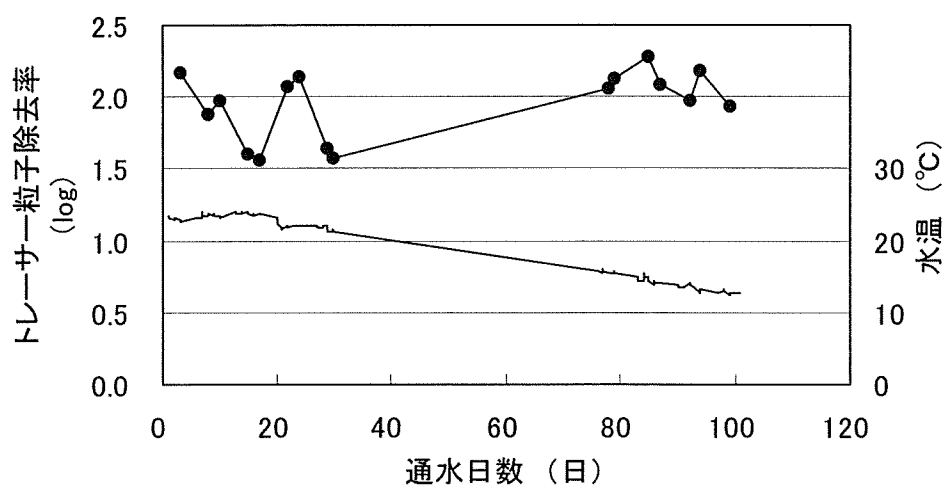


図-5.11 ろ材入れ替えからの経過日数と Run 毎平均除去率の関係 (PMMA)

(3) ろ層内部におけるトレーサー抑留状況の調査

およそ 10 ヶ月間使用した鋼板製砂ろ過器および砂ろ過カラムのろ層をサンプリング調査し、逆洗前後におけるろ層内におけるトレーサー粒子の残留状況を確認した。

結果を図-5.12~5.14 に、同じデータで縦軸を対数標記としたものを図-5.15~5.17 に示す。これより以下の事項が明らかとなった。

- 1) 平成 11 年 8 月から 12 年 5 月まで実験に使用していた No. 1、No. 2 ろ過器において、逆洗前、ろ層内に抑留されているトレーサーは、その約 90 %が上層部 20 cm に集中していた。ただし、トレーサーは砂層の深部まで到達しており、最下層においても

10000 個/g-砂 程度認められた。また本年度より使用を開始した緑色に染色したトレーサーよりも、前年度から使用している青色トレーサーの方が抑留量が多く、ろ過の繰り返しによるトレーサー粒子の蓄積が

- 2) 逆洗により、表層部のトレーサーは排出され、逆洗前の 450000 個/g-砂 が 7000 個/g-砂 まで減少した。
- 3) 逆洗後も、最下層においてなお 2000 個/g-砂 程度が残留していた。
- 4) それまでの実験期間中、トレーサーの入力負荷が小さかった、ろ過カラムにおける残留トレーサー数は、ろ過器内よりもおよそ 1 オーダー低い数値であった。