

実験は前日の午後に通水条件を設定（PAC 注入率、ろ過原水ラインの切替え）し、通水した。翌日の午前中に各々のサンプリング場所でサンプリングを行い、表 3.2.4-1 の項目の測定を行った。実験期間が限られていたため、基本的に各条件の運転時間は 24 時間とした。

凝集条件と工程を表 3.2.4(1)-4 に示す。

表 3.2.4(1)-4 凝集条件とその工程

日付	PAC 注入率 (mg/L)	G 値	ろ過原水
10/23~24	10	550	混和水
10/24~27	10	550	混和水
10/27~28	5	550	混和水
10/28~29	10	550	凝集水
10/29~30	5	550	凝集水
10/30~31	5	550	凝集水
11/4~11/5	10	550	凝集水
11/5~11/6	10	550	混和水
11/6~11/7	5	550	混和水

### 3) 実験結果と考察

#### ① 原水水質

実験期間中の原水水質を表 3.2.4(1)－5 に、粉末活性炭注入状況を表 3.2.4－6 示す。

表 3.2.4(1)－5 原水水質

	10 月						11 月				平均
	24 日	27 日	28 日	29 日	30 日	31 日	4 日	5 日	6 日	7 日	
濁度 (度)	3.16	3.10	2.82	9.04	3.14	／	5.74	2.90	21.5	6.21	6.40
色度 (度)	2.6	2.6	3.0	5.4	2.4	2.0	3.0	1.7	10.1	2.9	3.6
pH 値	7.66	7.77	7.83	7.61	7.80	7.80	7.79	7.80	7.60	7.69	7.74
水温 (°C)	17.7	17.1	18.2	19.3	17.9	16.6	18.8	16.6	17.0	17.5	17.7
E260 (50mm セル)	0.048	0.047	0.043	0.050	0.065	0.062	0.065	0.061	0.084	0.045	0.057

表 3.2.4(1)－6 粉末活性炭注入状況

日時	注入地点	注入率
10/28 21:06 ~ 10/29 7:33	社家取水場	6 mg/l
11/6 5:29 ~ 11/7 9:05	社家取水場	6 mg/l

#### 濁度

濁度は、気象条件により変動し、特に、降雨後に高くなる傾向が認められた。また、降雨時には臭気対策として取水場で粉末活性炭を注入していることもあり、濁度上昇の一要因となった。

総じて、降雨がない時に濁度は 5 度以下であり、降雨後に 5 度以上になる傾向が認められた。

#### 色度

濁度同様、降雨後には高くなる傾向が認められたが、それ以外の時は、水質基準を満たすほど良好であった。

#### pH 値

pH 値は実験期間中、7.6～7.8 で推移しており、比較的安定していた。

#### 水温

16℃～19℃で推移しており、pH 値同様、比較的安定していた。

#### E260

概ね 0.04～0.06 程度であったが、最も降水量が多かった 11 月 6 日に最大 0.084 を示していた。

以上の結果から、原水水質は降雨により影響を受けることが分かった。特に濁度が影響を受けやすい。

## ②各処理工程における水質の変化

各処理工程（直接ろ過、活性炭ろ過、凝集沈澱）における各水質項目の測定値およびその除去率を表 3.2.4-7～表 3.2.4-13、図 3.2.4-4 および図 3.2.4-5 に示す。

なお、凝集沈澱処理水に 1 系と 3 系を併記しているが、1 系は、2 系と同じ構造をもつ凝集沈澱装置であり、PAC 注入率が 2 系よりも多く 20 mg/L 注入している。また、3 系は、2 系と凝集条件は同じとしているが、処理水量が少ない（凝集沈澱装置の大きさが小さい）装置である。

## 濁度

表 3.2.4(1)-7 各処理工程における濁度の測定値（単位：度）とその除去率

採水日	ろ過原水(2系)		原水	ろ過原水	直接ろ過水	活性炭ろ過水	1系凝沈水	2系凝沈水	3系凝沈水	
10月24日	PAC10	混和水	測定値(度)	3.16	3.04	0.12	0.13		2.20	1.04
			除去率(%)			96.1	96.0	75.7	30.3	67.1
10月27日	PAC10	混和水	測定値(度)	3.10	3.68	0.28	0.43	0.78	1.72	0.69
			除去率(%)			91.1	86.1	74.9	44.5	77.7
10月28日	PAC5	混和水	測定値(度)	2.82	2.89	0.60	0.64	0.66	2.29	1.62
			除去率(%)			78.8	79.7	79.1	27.6	48.7
10月29日	PAC10	凝集水	測定値(度)	9.04	7.54	0.99	1.31	2.31	6.05	4.24
			除去率(%)			89.0	85.5	74.4	33.1	53.1
10月30日	PAC5	凝集水	測定値(度)	3.14	3.25	0.82	0.84	0.84	2.45	2.07
			除去率(%)			73.8	73.2	73.3	22.0	34.2
11月4日	PAC5	混和水	測定値(度)	5.74	5.53	0.77	0.77	0.71	2.60	2.34
			除去率(%)			86.6	86.6	87.6	54.7	59.2
11月5日	PAC10	凝集水	測定値(度)	2.90	2.63	0.14	0.20	0.69	1.59	1.46
			除去率(%)			95.2	93.3	76.3	45.0	49.4
11月6日	PAC10	混和水	測定値(度)	21.5	19.6	2.16	2.60	3.20	9.56	4.63
			除去率(%)			90.0	87.9	85.1	55.5	78.5
11月7日	PAC5	混和水	測定値(度)	6.21	7.99	0.82	0.92	1.17	5.54	2.68
			除去率(%)			86.8	85.2	81.2	10.8	56.9
除去率平均(%)					87.5	85.9	78.6	36.0	58.3	

濁度は、ろ過機能を有する直接ろ過および活性炭ろ過での除去率が高く、凝集沈澱よりも除去率はかなり高い傾向が認められる。PAC20 mg/L 注入した 1 系よりも除去率が高いことから、濁度除去にはろ過が有益であることが示された。

同条件における直接ろ過と活性炭ろ過とに明確な差は認められなかったが、PAC 注入率が高いほど除去率は高くなる傾向があった。PAC 注入率が高いほど除去率が高くなる傾向は凝集沈澱処理水でも同様であった。

また、原水濁度が高いと除去率が高くとも原水の濁度が高いためにろ過水濁度も高くなる傾向があった。

## 色度

表 3.2.4(1)－8 各処理工程における色度の測定値（単位：度）とその除去率

採水日	ろ過原水(2系)			原水	ろ過原水	直接ろ過水	活性炭ろ過水	1系凝沈水	2系凝沈水	3系凝沈水
10月24日	PAC10	混和水	測定値(度)	2.57	0.57	0.71	0.14	0.43	1.00	0.86
			除去率(%)			72.2	94.4	83.3	61.1	66.7
10月27日	PAC10	混和水	測定値(度)	2.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.57	0.29
			除去率(%)			77.8	88.9	88.7	77.8	88.9
10月28日	PAC5	混和水	測定値(度)	3.00	1.14	1.14	0.86	0.43	1.00	0.57
			除去率(%)			61.9	71.4	85.7	66.7	81.0
10月29日	PAC10	凝集水	測定値(度)	5.43	0.71	0.71	0.43	0.29	0.71	0.57
			除去率(%)			86.8	92.1	94.7	86.9	89.5
10月30日	PAC5	凝集水	測定値(度)	2.43	1.00	0.71	0.57	0.29	0.86	0.43
			除去率(%)			70.6	76.5	88.1	64.6	82.4
10月31日	PAC5	凝集水	測定値(度)	2.00	0.57	0.86	0.57	0.14	0.71	0.71
			除去率(%)			57.1	71.4	93.0	64.5	64.3
11月4日	PAC5	混和水	測定値(度)	3.00	0.71	0.86	0.43	0.14	0.57	0.57
			除去率(%)			71.4	85.7	95.3	81.0	81.0
11月5日	PAC10	凝集水	測定値(度)	1.70	0.30	0.29	0.00	0.14	0.14	0.14
			除去率(%)			83.3	100.0	91.8	91.7	91.7
11月6日	PAC10	混和水	測定値(度)	10.1	1.70	2.00	1.57	0.43	1.43	0.71
			除去率(%)			80.3	84.5	95.8	85.9	93.0
11月7日	PAC5	混和水	測定値(度)	2.86	0.57	0.71	0.43	0.00	0.71	0.29
			除去率(%)			75.0	85.0	100.0	75.0	90.0
除去率平均(%)						73.7	85.0	91.6	75.5	82.8

色度は、凝集剤の注入率が高いほど低くなる傾向が認められた。これは凝集剤により、色度成分が凝集したためである。

また、同じろ過機能を持つ直接ろ過と活性炭ろ過を比較すると、活性炭ろ過の方が低くなる傾向が認められた。このことから、活性炭により凝集で取り除けなかった色度成分が吸着されたものと思われる。

pH 値と水温

表 3.2.4(1) - 9 各処理工程における pH 値の測定値

採水日	ろ過原水(2系)		測定値	原水	ろ過原水	直接ろ過水	活性炭ろ過水	1系凝沈水	2系凝沈水	3系凝沈水
	PAC10	混和水								
10月24日	PAC10	混和水	測定値	7.66	7.55	7.58	7.66	7.50	7.68	7.65
10月27日	PAC10	混和水	測定値	7.77	7.65	7.74	7.70	7.60	7.70	7.77
10月28日	PAC5	混和水	測定値	7.83	7.62	7.72	7.73	7.60	7.76	7.81
10月29日	PAC10	凝集水	測定値	7.61	7.42	7.50	7.29	7.50	7.55	7.55
10月30日	PAC5	凝集水	測定値	7.80	7.79	7.82	7.84	7.70	7.81	7.80
10月31日	PAC5	凝集水	測定値	7.80	7.75	7.81	7.83	7.60	7.80	7.83
11月4日	PAC5	混和水	測定値	7.79	7.66	7.74	7.74	7.52	7.70	7.76
11月5日	PAC10	凝集水	測定値	7.80	7.54	7.62	7.70	7.50	7.61	7.66
11月6日	PAC10	混和水	測定値	7.60	7.57	7.55	7.65	7.40	7.51	7.62
11月7日	PAC5	混和水	測定値	7.69	7.62	7.67	7.63	7.50	7.69	7.67

表 3.2.4(1) - 10 各処理工程における水温の測定値 (単位: °C)

採水日	ろ過原水(2系)		測定値	原水	ろ過原水	直接ろ過水	活性炭ろ過水	1系凝沈水	2系凝沈水	3系凝沈水
	PAC10	混和水								
10月24日	PAC10	混和水	測定値	17.7	17.3	17.7	17.5	17.8	17.7	17.8
10月27日	PAC10	混和水	測定値	17.1	17.5	17.4	17.7	17.3	17.5	18.1
10月28日	PAC5	混和水	測定値	18.2	17.9	18.2	18.1	18.2	18.1	18.3
10月29日	PAC10	凝集水	測定値	19.3	18.6	18.7	18.9	19.3	18.5	19.1
10月30日	PAC5	凝集水	測定値	17.9	18.1	18.8	18.3	18.3	18.3	18.3
10月31日	PAC5	凝集水	測定値	16.6	16.4	16.4	16.4	16.9	16.8	16.4
11月4日	PAC5	混和水	測定値	18.8	17.8	17.3	18.0	18.5	18.6	17.9
11月5日	PAC10	凝集水	測定値	16.6	16.6	16.8	16.8	16.7	16.8	16.8
11月6日	PAC10	混和水	測定値	17.0	17.2	17.4	17.5	17.3	17.2	17.4
11月7日	PAC5	混和水	測定値	17.5	17.8	18.3	18.4	17.8	18.0	18.6

pH 値は、凝集剤を注入することにより低下するが、大きな変動は認められない。  
水温も大きな変動は認められない。

表 3.2.4(1) - 11 各処理工程における E260 の測定値とその除去率

採水日	ろ過原水(2系)			原水	ろ過原水	直接ろ過水	活性炭ろ過水	1系凝沈水	2系凝沈水	3系凝沈水
10月24日	PAC10	混和水	測定値	0.084	0.027	0.032	0.000	0.018	0.028	0.032
			除去率(%)			33.3	100.0	62.5	41.7	33.3
10月27日	PAC10	混和水	測定値	0.047	0.029	0.029	0.000	0.021	0.025	0.023
			除去率(%)			38.3	100.0	55.3	46.8	51.1
10月28日	PAC5	混和水	測定値	0.043	0.029	0.033	0.000	0.021	0.028	0.025
			除去率(%)			23.3	100.0	51.2	34.9	41.9
10月29日	PAC10	凝集水	測定値	0.050	0.029	0.028	0.000	0.023	0.028	0.028
			除去率(%)			44.0	100.0	54.0	44.0	44.0
10月30日	PAC5	凝集水	測定値	0.065	0.043	0.043	0.002	0.032	0.037	0.038
			除去率(%)			33.8	96.9	50.8	43.1	41.5
10月31日	PAC5	凝集水	測定値	0.062	0.048	0.046	0.010	0.040	0.043	0.053
			除去率(%)			25.8	83.9	35.5	30.6	14.5
11月4日	PAC5	混和水	測定値	0.065	0.050	0.050	0.008	0.037	0.046	0.045
			除去率(%)			23.1	87.7	43.1	29.2	30.8
11月5日	PAC10	凝集水	測定値	0.061	0.047	0.048	0.011	0.043	0.045	0.045
			除去率(%)			21.3	82.0	29.5	26.2	26.2
11月6日	PAC10	混和水	測定値	0.084	0.057	0.065	0.017	0.056	0.064	0.058
			除去率(%)			22.6	79.8	33.3	23.8	31.0
11月7日	PAC5	混和水	測定値	0.045	0.033	0.0345	0.006	0.026	0.034	0.032
			除去率(%)			24.4	86.7	42.2	24.4	28.9
除去率平均(%)						29.0	91.7	45.7	34.5	34.3

E260 は、活性炭ろ過が最も除去率が高く、ほぼ 90%以上除去を除去することができた。これは、色度と同様、活性炭に吸着されたためである。また、色度同様、凝集剤の注入率が高いほど低くなる傾向が認められた。凝集による効果であるが、色度ほど顕著ではなかった。

表 3.2.4(1) - 12 各処理工程における STI の測定値

採水日	ろ過原水(2系)		測定値	原水	ろ過原水	直接ろ過水	活性炭ろ過水	1系凝沈水	2系凝沈水	3系凝沈水
10月24日	PAC10	混和水	測定値			1.39	1.33			1.77
10月27日	PAC10	混和水	測定値			1.76	1.29			1.71
10月28日	PAC5	混和水	測定値			2.00	2.17			2.69
10月29日	PAC10	凝集水	測定値			1.64	1.86			3.12
10月30日	PAC5	凝集水	測定値			2.02	2.09			2.51
10月31日	PAC5	凝集水	測定値			2.46	2.77			2.60
11月4日	PAC5	混和水	測定値	1.16	3.79	2.60	2.83			3.21
11月5日	PAC10	凝集水	測定値	1.21	4.94	1.66	1.90			3.27
11月6日	PAC10	混和水	測定値	2.29	7.78	2.56	2.87			2.80
11月7日	PAC5	混和水	測定値	1.53	4.09	2.16	2.24		3.96	3.07
	平均			1.55	5.15	2.02	2.13		3.96	2.68

STI は、凝集剤の注入していない原水が最も低く、次いでろ過水、次いで凝集沈澱水となった。このことから、凝集剤注入によるフロックの形成が STI に大きく影響していることが示唆された。

また、直接ろ過と活性炭ろ過では明確な差は認められなかったことから、同程度のフロックがろ層内で捕捉しているものと推定できる。

#### 損失水頭

表 3.2.4(1) - 13 ろ過工程における損失水頭上昇速度 (単位: mm/hr)

ろ過期間	ろ過原水(2系)		直接ろ過水	活性炭ろ過水
10/23~24	PAC10	混和水	30.3	24.9
10/24~27	PAC10	混和水	32.3	21.4
10/27~28	PAC5	混和水	12.4	7.8
10/28~29	PAC10	凝集水	41.7	15.6
10/29~30	PAC5	凝集水	28.5	11.3
11/4~5	PAC10	凝集水	39.9	19.7
11/5~6	PAC10	混和水	29.4	16.4
11/6~7	PAC5	混和水	29.5	12.0

損失水頭上昇速度は、同一条件においては、直接ろ過よりも活性炭ろ過の方が上昇速度は低い傾向が認められた。これは、ろ過による濁質の捕捉のしかたが異なるためであろう。一般に、珪砂を用いた砂ろ過では、ろ層表面で濁質を捕捉する表層ろ過になりやすく、活性炭ろ過では、ろ層全体で濁質を捕捉する内部ろ過(深層ろ過)になる。このため、損失水頭の上昇速度に差が見られたものと思われる。また、今回の実験では、直接ろ過の方が、ろ過速度が速いこともあり、これも一つの要因になったものと推定できる。

また、同じ PAC 注入率でも、混和水と凝集水では、凝集水の方が損失水頭の上昇速度は高い傾向が認められた。これは、凝集水では、緩速攪拌によりフロックが大型化したことが大きな原因

と考えられる。混和水では、G 値の高い急速攪拌によって小さなマイクロブロックが形成されるだけであり、損失水頭を上昇させなかったものと思われる。

#### 沈降速度分布

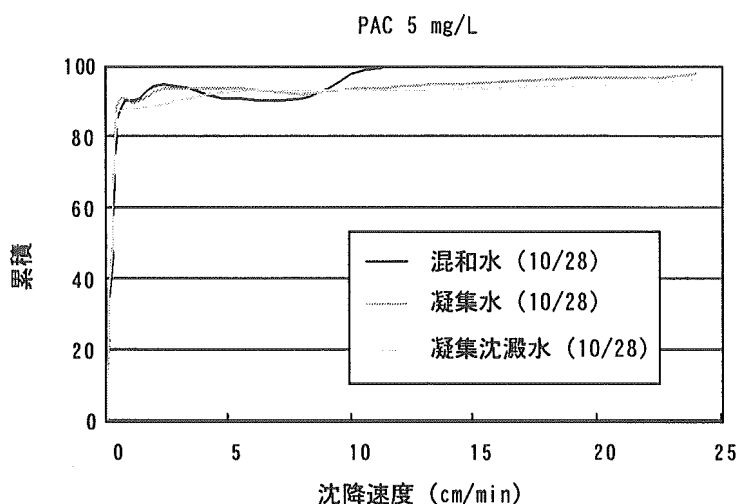


図 3.2.4(1)-4 PAC 5 mg/L 注入時の各処理工程における沈降分布累積曲線  
(2系凝集沈澱装置)

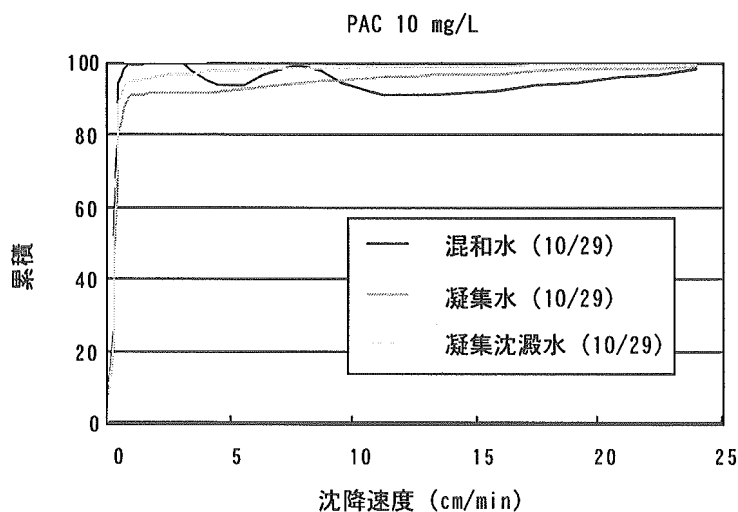


図 3.2.4(1)-5 PAC 10 mg/L 注入時の各処理工程における沈降分布累積曲線  
(2系凝集沈澱装置)

沈降速度分布は、PAC 注入率によって挙動が異なっていた。PAC5mg/L 注入では、混和水、凝集水、凝集沈澱処理水の沈降速度分布に大きな差を認めることはできなかったが、PAC10mg/L 注入では、微妙ではあるが、凝集水が最も沈降しやすく、次いで、凝集沈澱処理水が、混和水が最も沈降しにくい特徴を有していた。

これは、PAC 注入率が 5mg/L と低い場合は、凝集剤が少なく、緩速攪拌によるブロックの成長がほとんどなかったためと思われる。一方、PAC を 10mg/L まで増加させることにより、ブロックが成長し、沈降速度が若干速くなったものと推定できる。沈澱処理水では、大型のブロックは既に沈降しているため、凝集水ほど沈降速度は速くなかったものと思われる。



#### 4) 考察

膜の前処理としての適正条件とは、膜ろ過に流入する水の負荷を軽減することが重要な要素となる。このため、負荷となる濁度は低くするべきである。したがって、ろ過は濁質の負荷軽減のためには重要な工程と言える。しかし、ろ過工程が最終処理水でないことを考慮に入れば、全ての濁質を除去する必要は無く、ろ過処理水で1度程度まで低減できれば、膜への負荷も大きくなないと判断できる。

本実験では、降雨の影響によって原水濁度が大きく変動しており、10度以上の濁度を記録することもある(表3.2.4(1)-5)。このことを考慮に入れると、濁度に応じたPACの注入が必要となる。今回の結果をまとめると表3.2.4(1)-14、表3.2.4(1)-15のようになる。

原水濁度が5度以下の場合、PAC注入率を5 mg/L程度注入することにより、70~80%の除去率が見こめるため、ろ過水濁度を1度以下に保持できる。一方、原水濁度が5~10度では、PAC注入率を10 mg/Lまで増大させることによって除去率が85%以上となり、ろ過水濁度を1度以下に保持できる。10度以上の場合、さらにPAC注入率を上げる必要があるが、原水濁度が10度以上になる頻度が問題となる。

表3.2.4(1)-14 直接ろ過(砂ろ過)による濁度除去率

PAC 注入 (mg/L)	ろ過原水 (2系)	原水濁度 5		原水濁度 5~		原水濁度 10	
		処理水濁度 ( ) 内平均	平均除去率 (%)	処理水濁度 ( ) 内平均	平均除去率 (%)	処理水濁度 ( ) 内平均	平均除去率 (%)
5	混和	0.60	78.8	0.77-0.82 (0.80)	86.7		
5	凝集	0.82	73.8				
10	混和	0.12-0.28 (0.20)	93.6			2.16	90.0
10	凝集	0.14	95.2	0.99	89.0		

表3.2.4(1)-15 活性炭ろ過による濁度除去率

PAC 注入 (mg/L)	ろ過原水 (2系)	原水濁度 5		原水濁度 5~		原水濁度 10	
		処理水濁度 ( ) 内平均	平均除去率 (%)	処理水濁度 ( ) 内平均	平均除去率 (%)	処理水濁度 ( ) 内平均	平均除去率 (%)
5	混和	0.64	79.7	0.77-0.92 (0.84)	85.9		
5	凝集	0.84	73.2				
10	混和	0.13-0.43 (0.28)	91.1			2.6	87.9
10	凝集	0.20	93.3	1.31	85.5		

一方、沈澱処理水の場合には、PAC 注入率を増加することにより、濁度の低減は見こめるものの、ろ過工程よりは濁度の除去率は低い。よって、凝集沈澱処理を膜ろ過の前処理として適用する場合には、処理水濁度を 2 度程度にすべきものと思われる。

今回の凝集沈澱処理の結果をまとめると表 3.2.4(1)－16 のようになり、原水濁度 5 度以下では PAC 注入率は 10 mg/L、原水濁度 5～10 度では、PAC 注入率を 20 mg/L まで増大させることにより、ろ過水濁度を 2 度以下に保持できる。10 度以上の場合にはさらに、PAC 注入率を上げる必要があるが、原水濁度が 10 度以上になる頻度が問題となる。

表 3.2.4(1)－16 沈澱処理水の濁度除去率

系列	PAC 注入 (mg/L)	原水濁度 5		原水濁度 5～		原水濁度 10	
		処理水濁度 ( ) 内平均	平均除去率 (%)	処理水濁度 ( ) 内平均	平均除去率 (%)	処理水濁度 ( ) 内平均	平均除去率 (%)
1 系沈澱 処理水	20	0.69-0.78 (0.75)	75.9	0.71-2.31 (1.40)	81.1	3.2	85.1
2 系沈澱 処理水	5	2.29-2.45 (2.37)	24.8	2.60-5.54 (4.07)	32.8		
"	10	1.59-2.20 (1.84)	39.9	6.05	33.1	9.56	55.5
2 系沈澱 処理水	5	1.62-2.07 (1.85)	41.5	2.34-2.68 (2.51)	58.1		
"	10	0.69-1.46 (1.06)	64.7	4.24	48.7	4.63	78.5

しかしながら、PAC 注入率の増加は、損失水頭の上昇を引き起こし。洗浄頻度の増加、しいては回収率の低減につながる。このため、前処理によって求められるのは、濁度を除去しながらも損失水頭を増加させない条件となる。

今回得られた損失水頭の結果をまとめると図 3.2.4(1)－6 と図 3.2.4(1)－7 のようになる。

直接ろ過では、原水濁度が 5 度以下の場合、PAC 注入率が低いほど損失水頭の上昇速度が低く、また、同じ PAC 注入率においては、混和水の方が損失水頭の上昇速度が低い傾向が認められる。また、原水濁度が 5 度以上の場合も同様な傾向が見られることから、混和水の方が損失水頭の上昇速度が低いと言える。

このことから、直接ろ過においては、濁度によって PAC 注入率を調整し、混和水をろ過原水とすることが有効であると思われる。

一方、活性炭ろ過では、原水濁度が 5 度以下でも以上でも、PAC 注入率が低いほど損失水頭が上昇しないという点では、直接ろ過と同様であったが、ろ過原水が混和水の場合と凝集水の場合とで直接ろ過ほど顕著な差を認めることはできなかった。これは、前述したように直接ろ過と活性炭ろ過ではろ過による濁質の捕捉機構が異なっているためと考えられる。しかし、混和水の方が若干ではあるが損失水頭の上昇速度が低かったこと、凝集水では、フロックが大型化してしまった場合、損失水頭がつきやすくなる可能性があることから、混和水の方が有効であると思われる。

これらのことから、ろ過工程を膜処理の前処理として適用する場合、原水濁度に応じて PAC を注入し、混和槽（池）で適正な急速攪拌により細かくて固いマイクロフロックを形成させ、これらを砂ろ過あるいは活性炭ろ過へ通水すべきであると考えられる。

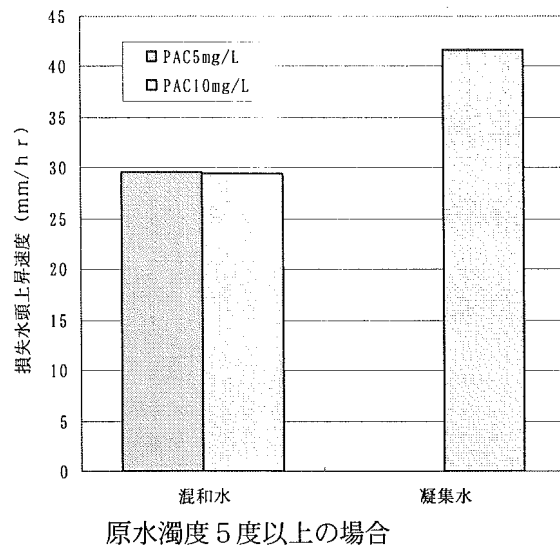
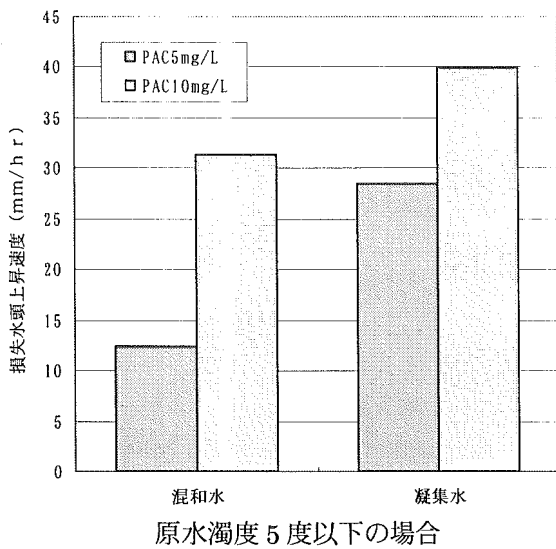


図 3.2.4(1)-6 原水濁度と損失水頭上昇速度の関係 (直接ろ過 (砂ろ過) の場合)

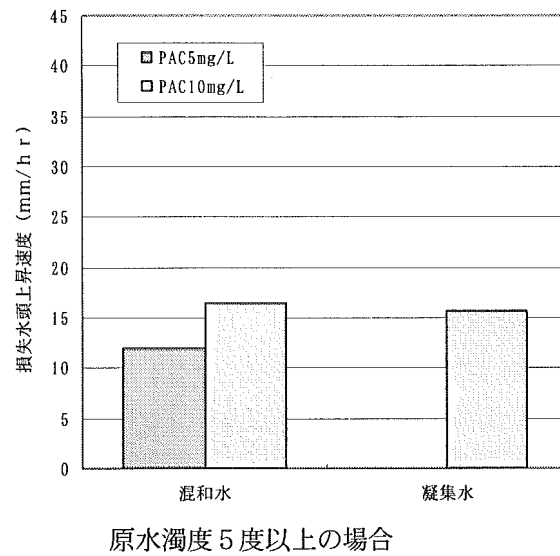
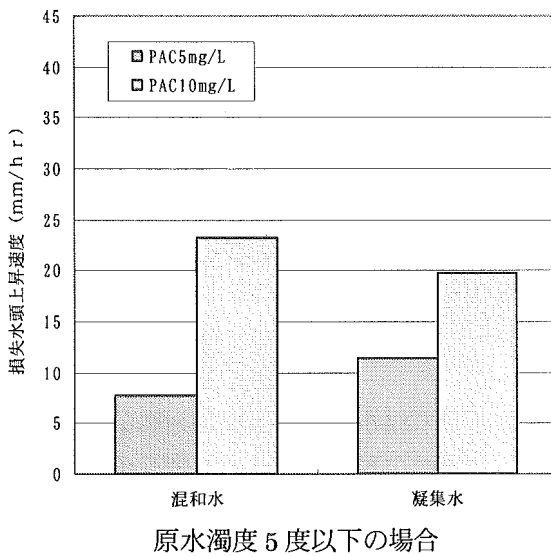


図 3.2.4(1)-7 原水濁度と損失水頭上昇速度の関係 (活性炭ろ過の場合)

以上の結果をまとめると表 3.2.4(1)-17 のようになる。

表 3.2.4(1)-17 前処理方法に対する PAC 注入率

	ろ過原水種	原水濁度 5 度以下	原水濁度 5 度～10 度	原水濁度 10 度以上
直接ろ過 (砂ろ過) および活性炭ろ過の場合	混和水	5mg/L	10mg/L	原水濁度が 10 度以上 になる頻度が問題
凝集沈澱処理の場合	—	10mg/L	20mg/L	原水濁度が 10 度以上 になる頻度が問題

## 5) 結論

最終処理工程として膜ろ過を使用する処理システムにおいては、前処理により完全に濁質を除去する必要はなく、効率良く負荷低減を行なうことが必要である。

実験結果より、凝集剤量を低減するとともに攪拌強度を強めることにより、細かいフロックを形成させることが重要と考え、前処理条件を表 3.2.4(1)－18 のように決定した。

表 3.2.4(1)－18

①ろ過塔原水種類	混和水
②凝集剤注入率	原水濁度 7 度未満 → PAC 注入率 7 mg/l 原水濁度 7 度以上 → PAC 注入率 15 mg/l

### <決定期由>

#### ①ろ過塔原水種類

攪拌強度を確保できればフロックを成長させる必要はなく、フロック形成槽は不必要であることから、ろ過塔供給原水は混和水とした。処理システムとしても、単純化が図れるため、利点があると考えた。

#### ②凝集剤注入率

実験結果より、原水濁度に応じた凝集剤注入率を設定することが有効であるが、実験設備の凝集剤注入量の設定は手動で行なうため、常時原水濁度に連動し注入率を設定することは困難である。実験設備の管理状況を考慮すると、凝集剤は 2 段階のステップ注入を行なうことが好ましい。

また、連続実験時は 2 系の設備を主幹とし、混和水または凝集水を直接ろ過塔および活性炭ろ過塔へ供給するとともに、凝集沈澱水を膜ろ過装置へ供給する。したがって、それぞれの系列の処理性を考慮すると、表 3.2.4(1)－17 の実験結果から凝集剤注入量は、7 mg/l および 15 mg/l の 2 段階注入が妥当であると判断した。

一方、全国浄水場原水水質調査アンケートより、綾瀬浄水場での原水濁度の累積分布は、5 度で 63%、7 度で 79%、10 度で 85% 程度であった。このことから、実験においては原水濁度を 5 度、10 度で区切りとしたが、浄水場原水濁度の累積分布が約 80% である 7 度を区切りとした。

以上のことから、凝集剤注入率は、原水濁度 7 度を区切りに、7 mg/l および 15 mg/l の 2 段階注入とした。

綾瀬浄水場では、通常時における凝集剤の注入量は 15 mg/l 程度であることから、本実験における凝集剤注入量 7 mg/l は浄水場凝集条件の半分程度の設定となり、通常の処理システムと処理性能や処理コストを比較する際に、一つのポイントとなる。

## (2) フラックス決定実験

### 1) 実験目的

トータルシステムフロー実験は、浄水処理システムに膜ろ過を組み込む場合に、各単位処理においてどのように負荷分配を行うことが有用であるかをシステム全体として検討し、環境影響低減化浄水トータルシステムとしての最適化技術を構築することを目的とする。実験は、各系列の膜ろ過装置の運転条件を一定とし、各系列のシステム全体に対する負荷を同等に与えることにより、膜モジュールの薬品洗浄間隔を評価する。また、薬品洗浄条件を一定とし、薬品洗浄回復率も評価対象とする。

そこで本実験では、連続実験の予備実験として、膜モジュールの薬品洗浄頻度が年に2～3回程度となるような膜ろ過フラックスを実証実験により調査し、選定することを目的とした。また、本実験に用いた膜モジュールを用いて、薬品洗浄条件の選定を行った。

### 2) 実験概要と実験フロー

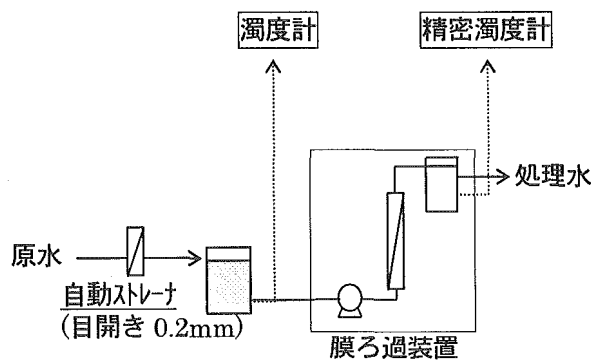


図 3.2.4(2)-1 D系処理フロー

表 3.2.4(2)-1 膜ろ過装置概要

膜の種類	外圧式中空糸型精密ろ過膜 (MF膜)
膜の材質	ポリビニリデンフルオライド (PVDF)
公称孔径	0.1 $\mu\text{m}$
膜面積	7.0 $\text{m}^2$ /モジュール
ろ過方式	全量ろ過方式
フラックス	1.0 ~ 5.0 $\text{m}/\text{d}$

### 3) 実験方法

D系列（直接膜ろ過）を用いてフラックスを段階的に調整し、膜差圧の挙動を調査した。

設定条件として、D系列では、前処理のある他の系列に比べておよそ2～3倍程度の負荷がかかると仮定し、D系列において薬品洗浄間隔が1ヶ月程度となる条件を検討した。

膜ろ過処理は、水温による水の粘性変化の影響が大きいため、綾瀬浄水場の平成13年度における年間最低水温が8.1℃であったことから、低水温期の水温を7℃と設定した。また、参考値として平成13年度における年間最高水温が25.2℃であったことから、最高水温を25℃と想定し解析を行なった。

さらに、使用した膜モジュールを薬品洗浄し、薬品洗浄条件を決定した。

### 4) 実験条件

①実験期間：平成15年10月20日～11月7日（実証実験）

②実験装置：D系列（直接膜ろ過）

③フラックス：1.5  $\text{m}/\text{d}$  → 2.0  $\text{m}/\text{d}$  → 3.0  $\text{m}/\text{d}$  → 3.5  $\text{m}/\text{d}$

④物理洗浄条件：ろ過時間 28 min, 洗浄時間 2 min

逆流洗浄時間 30 sec, 空洗時間 60 sec, 排水時間 10 sec, 満水時間 20 sec

逆洗水量 ろ過量の2倍程度, 逆洗次亜注入率 3.0  $\text{mg}/\text{L}$ , 空洗風量 50  $\text{NL}/\text{min}$

⑤評価項目：補正膜差圧

5) 実験工程

表 3.2.4(2) - 2 の通り、フラックスを段階的に調整し、実験を実施した。

図 3.2.4(2) - 2

	10月											11月							
フラックス	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7
1.5 m/d																			
2.0 m/d																			
3.0 m/d																			
3.5 m/d																			

6) 実験結果

実験結果を図 3.2.4(2) - 2 に示す。

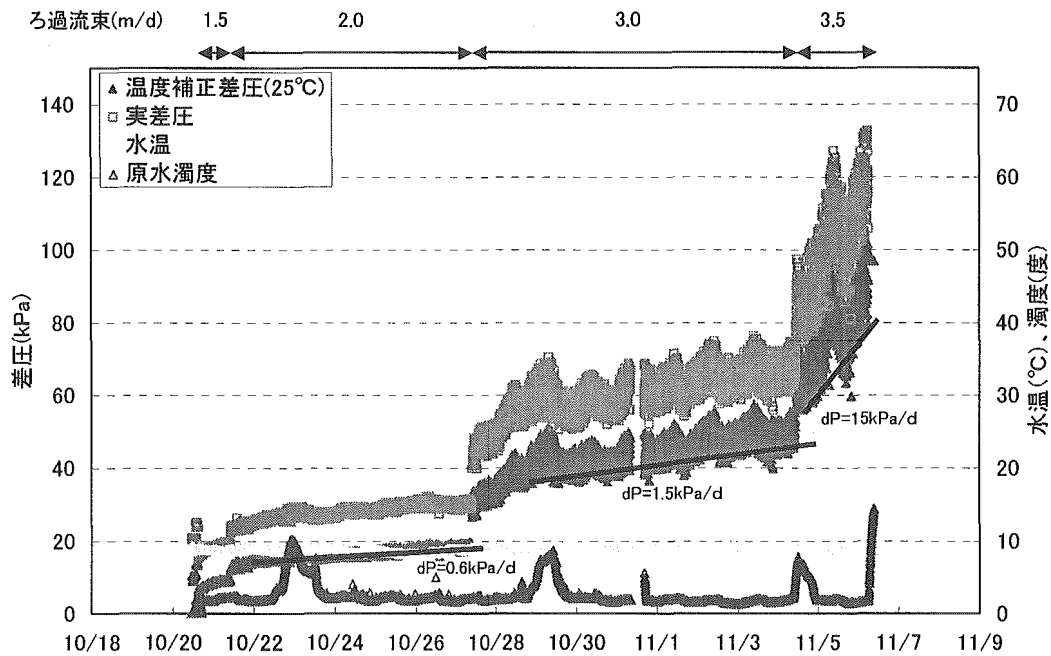


図 3.2.4(2) - 2 フラックスと温度補正差圧

この結果をもとに薬品洗浄間隔を計算した結果を表 3.2.4(2) - 3 に示す。

表 3.2.4(2) - 3 薬品洗浄間隔計算値

フラックス (m/d)	水温 (°C)	差圧上昇速度 (kPa/d)	初期差圧 (kPa)	薬品洗浄間隔 (d)
2.0	25	0.6	15	225
3.0	25	1.5	45	70
3.5	25	15.0	73	5
2.0	7	1.0	26	130
3.0	7	2.4	77	31
3.5	7	24.0	124	1

(薬品洗浄差圧 150kPa とする)

実験結果より、低水温期においても薬品洗浄間隔を 1 ヶ月程度確保するためには、フラックスを 3.0 m/d とすればよいと予測される。

## 7) 薬品洗浄方法検討結果

実験終了後、膜モジュール薬品洗浄方法を検討した。

- ① 洗浄方法：膜メーカー推奨方法による
- ② 評価項目：純水透水性能初期値比
- ③ 目標値：純水透水性能初期値比 80%以上
- ④ 結果：表 3.2.4(2)－4 に示す。

表 3.2.4(2)－4 薬品洗浄結果

	純粋透水性能初期値比
返却時	0.33
洗浄後	0.81

### ⑤ 考察：

本薬品洗浄方法により目標値を達成できることを確認した。したがって、今後の実験における薬品洗浄は、今回の方法にて実施することに決定した。

また、薬品洗浄を実施する膜ろ過装置の運転圧力（入口圧力）は、150 kPa とした。メーカー推奨値は 200 kPa 以下であるが、薬品洗浄頻度を評価する必要があるため、膜モジュールに過負荷をかけずに繰り返し使用することを考慮した結果である。

## 8) 結論

実験結果より、膜ろ過フラックスおよび薬品洗浄条件は表 3.2.4(2)－5 の通り決定した。

表 3.2.4(2)－5

①膜ろ過フラックス	3.0 m/d
②薬品洗浄方法	膜メーカー洗浄条件

(3) 連続実験

1) 実験目的

4つの処理フローを長期にわたり並列運転することにより、それぞれの浄水処理システムの能力を直接的に比較できるデータを取得する

2) 実験概要と実験フロー

実験フローを図 3.2.4(3)-1 に示す。

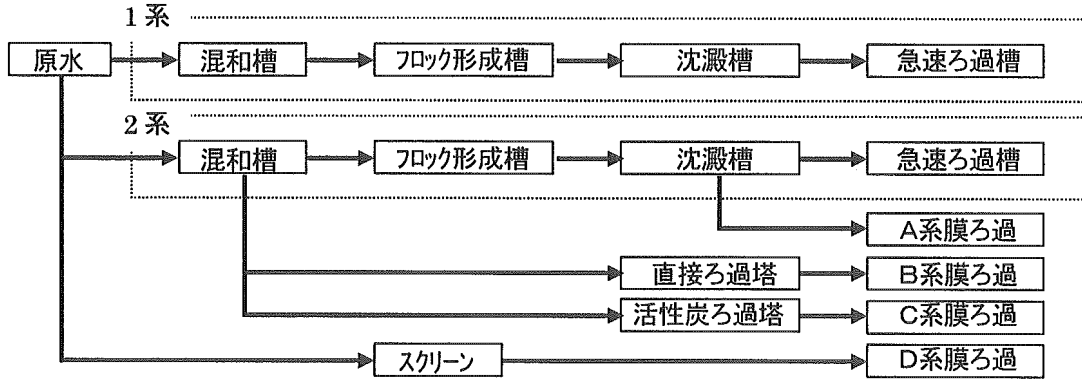


図 3.2.4(3)-1 連続実験系統図

実験内容は前処理条件決定実験およびフラックス決定実験にて決定した条件にて、全系列の連続運転を行ない、膜差圧の挙動や薬品洗浄間隔などを調査する。

実験条件を以下に示す。

- ①実験期間：平成15年11月～平成16年12月
- ②実験装置：2系設備を主幹とし、直接ろ過塔、活性炭ろ過塔、A～D系膜ろ過装置
- ③凝集剤：原水濁度7度未満 → PAC 7 mg/l  
原水濁度7度以上 → PAC 15 mg/l
- ④前塩素：1.0 mg/l ※1系のみ中間塩素 0.4 mg/l 注入
- ⑤G 値：550 (1段および2段目の混和槽)
- ⑥膜ろ過装置：フラックス 3.0 m/d
- ⑦サンプル水種類

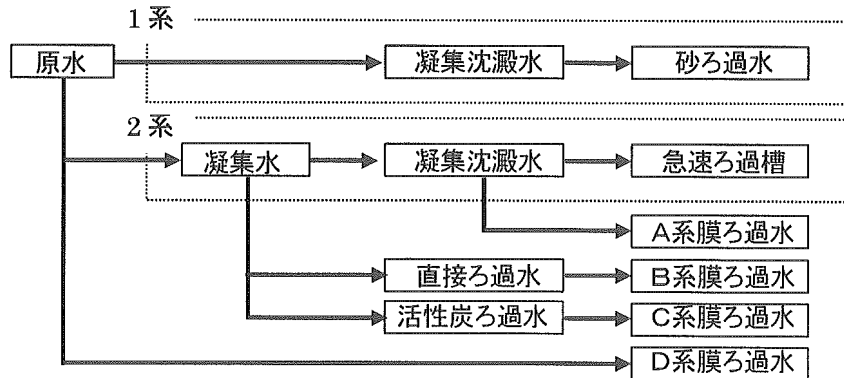


図 3.2.4(3)-2 サンプル水系統図



⑧測定項目

表 3.2.4(3)-1 測定項目および測定頻度

手分析	水温、pH、濁度、色度、E260	1回 / 1日
自動計測	水温、pH、濁度、膜差圧	連続測定
外部委託分析	KMnO <sub>4</sub> 消費量、TOC、鉄、マンガン、アルミニウム	1回 / 2週間

⑨測定方法

表 3.2.4(3)-2 測定項目および測定方法

測定項目		分析法
手 分 析	水温	ガラス電極法
	pH	ガラス電極法
	濁度	透過光
	色度	透過光測定法（ガラスフィルターろ過後）
	E260	透過光測定法（0.45μmMF膜ろ過後）
自 動 計 測	水温	温度センサ
	pH	ガラス電極法
	濁度	表面散乱光方式（原水濁度） 水中散乱光方式（膜ろ過原水濁度） カウンター方式（膜ろ過水濁度）
	膜差圧	圧力センサー
外 部 委 託 分 析	KMnO <sub>4</sub> 消費量	酸性法
	TOC	燃焼酸加法
	鉄	ICP 法
	マンガン	
	アルミニウム	

### 3) 実験経過

11月12日よりフラックス 3.0 m/d にて運転を開始した。実験開始当初は予測通りの膜間差圧で運転できたが、12月中旬以降は全系列とも膜間差圧の上昇傾向が見られた。

D系（直接膜ろ過）については、12月14日に設定した薬品洗浄条件に達したので、フラックス決定実験にて決定した方法で洗浄を実施した。D系膜の薬品洗浄間隔は33日となり、フラックス決定実験での予測値とほぼ一致した。

その他の系列の、A系（凝集沈澱+膜ろ過）、C系（活性炭ろ過+膜ろ過）についても、設定した薬品洗浄条件に達した時点で洗浄を実施した。D系に関しては、1月に入り合計3回の薬品洗浄を実施した。

この時期における膜間差圧の上昇については、全系列の膜差圧が同時に上昇したことから、原水由来のよるものと推定された。この時期の原水水質の測定値(TOC、E260、pH、濁度、色度等)には顕著な変化は見られなかったが、水温の低下による溶解成分の不溶化と液体の高粘度化が膜閉塞の原因になったと考えられる。物理洗浄時の逆洗塩素添加量を増やすと共に、フラックスを2.5 m/d とすることで膜間差圧上昇を抑制することが出来た。

また、この時期は綾瀬浄水場実設備においても凝集効果が低下する現象が起きており、凝集剤の注入量を増量して対応していた。合同実験設備では原水濁度によりPAC注入量を二段注入しているうえ、凝集剤量を低減した条件での運転を行なっているため、原水水質の変動による影響をより直接的に受けたのではないかと推測される。特に、D系は前処理や薬品注入を行なっていないため、これらの影響を顕著に受け、急激な膜間差圧の上昇が起きたと考えられる。

薬品洗浄結果および運転日数を表3.2.4(3)-3に、実験経過データを図3.2.4(3)-3~7に示す。

表3.2.4(3)-3 薬品洗浄結果および運転日数

	洗浄回数	運転停止日	フラックス (m/d)	運転日数 (日)	回復率 (%)	備考
A系	1回目	2004/01/09	3.0	49	99	
	2回目	2004/02/23	2.5	31	100	循環実験前薬品洗浄
B系	1回目	2004/02/03	3.0	74	94	循環実験前薬品洗浄
C系	1回目	2004/01/13	3.0	53	84	
	2回目	2004/03/22	2.5	59	84	運転期間中に循環実験
D系	1回目	2003/12/14	3.0	33	85	
	2回目	2004/01/04	2.5	2	100	
	3回目	2004/01/15	2.5	2	98	
	4回目	2004/01/22	2.5	2	100	

フラックスの変更は、1回目の薬品洗浄を実施した後に行なった。

また、1月26日から各系列毎に順次実施する循環実験は濁質添加を行なう実験であるため、差圧上昇傾向を考慮し、循環実験を実施する系列の膜については、薬品洗浄条件に達していなくても、実験開始前に薬品洗浄を実施した。この時、B系（直接ろ過+膜ろ過）に関しては、循環実験前までに1度も薬品洗浄を実施していなかった。

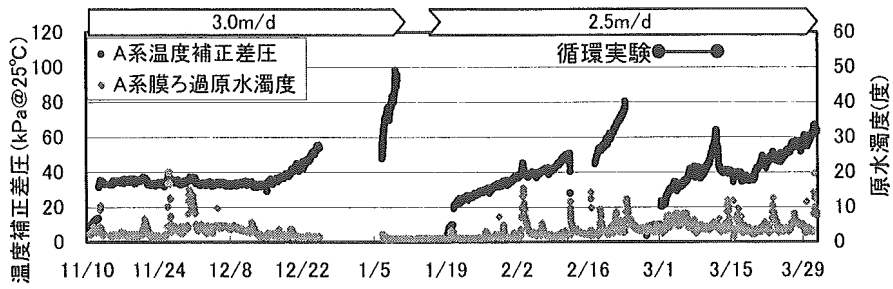


図3.2.4(3)-3 A系膜ろ過装置温度補正差圧と膜ろ過原水濁度

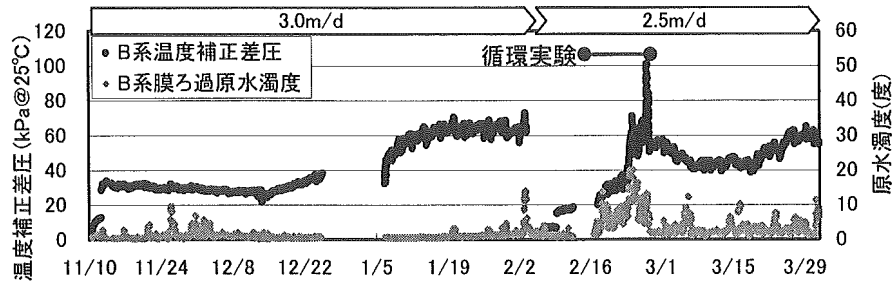


図3.2.4(3)-4 B系膜ろ過装置温度補正差圧と膜ろ過原水濁度

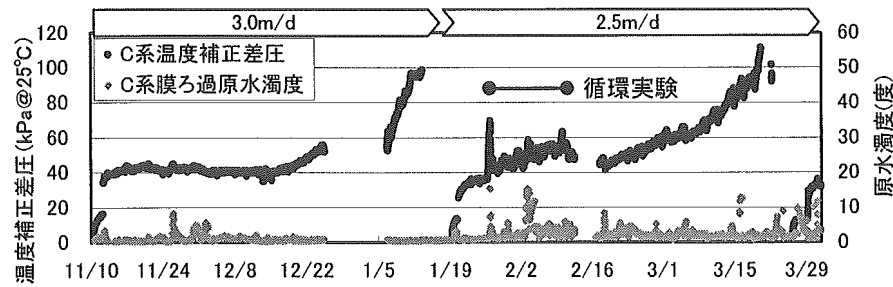


図3.2.4(3)-5 C系膜ろ過装置温度補正差圧と膜ろ過原水濁度

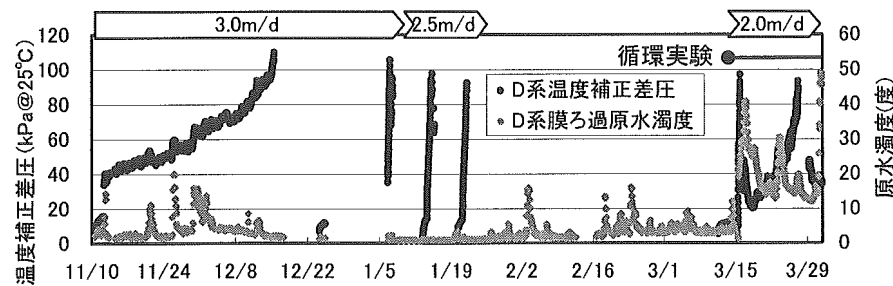


図3.2.4(3)-6 D系膜ろ過装置温度補正差圧と膜ろ過原水濁度

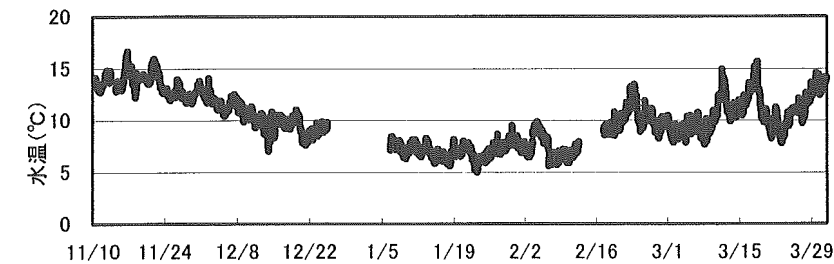


図3.2.4(3)-7 膜ろ過原水水温

### 3. 2. 5 トータルシステム実験資料

- ・実験装置配置図（別途添付資料）
- ・実験装置仕様書（別途添付資料）
- ・運転履歴
- ・活性炭注入記録表（別途添付資料）
- ・外部水質分析委託結果
- ・トータルシステム運転日報（別途添付資料）