

図 3.2.3-15 B系における中程度原水濁度と膜原水濁度の変化

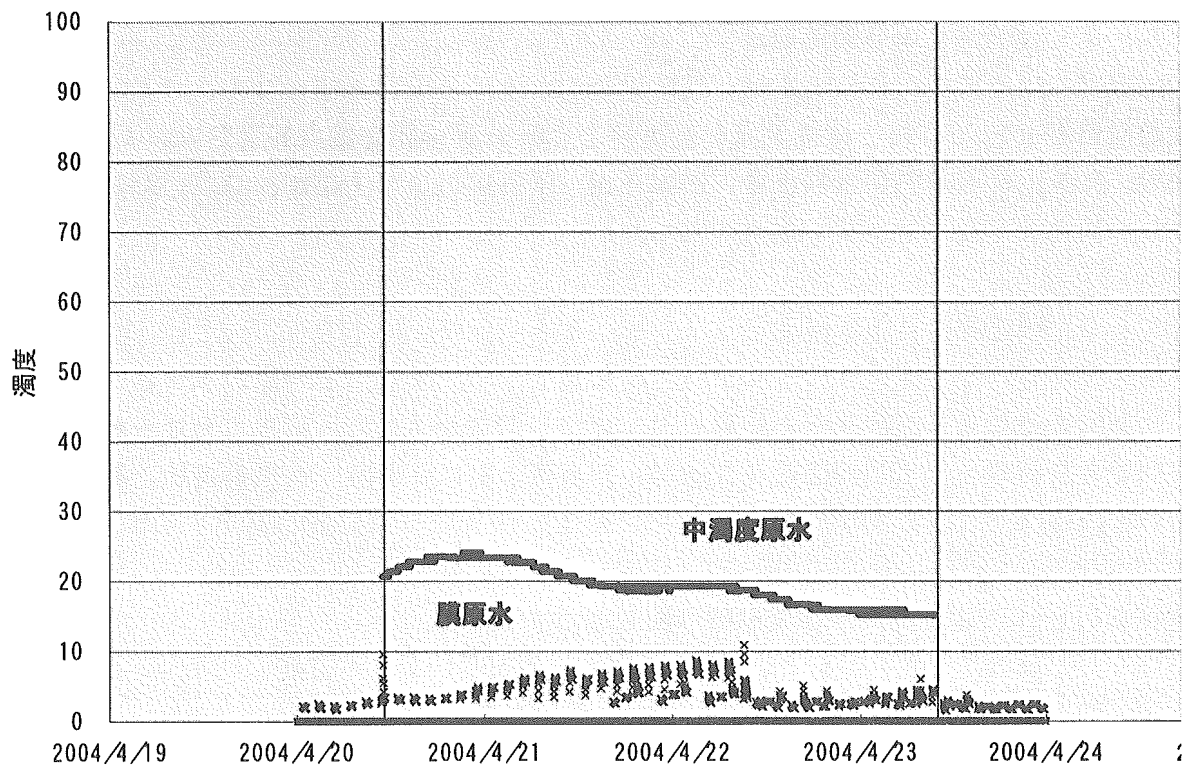


図 3.2.3-16 C系における中程度原水濁度と膜原水濁度の変化

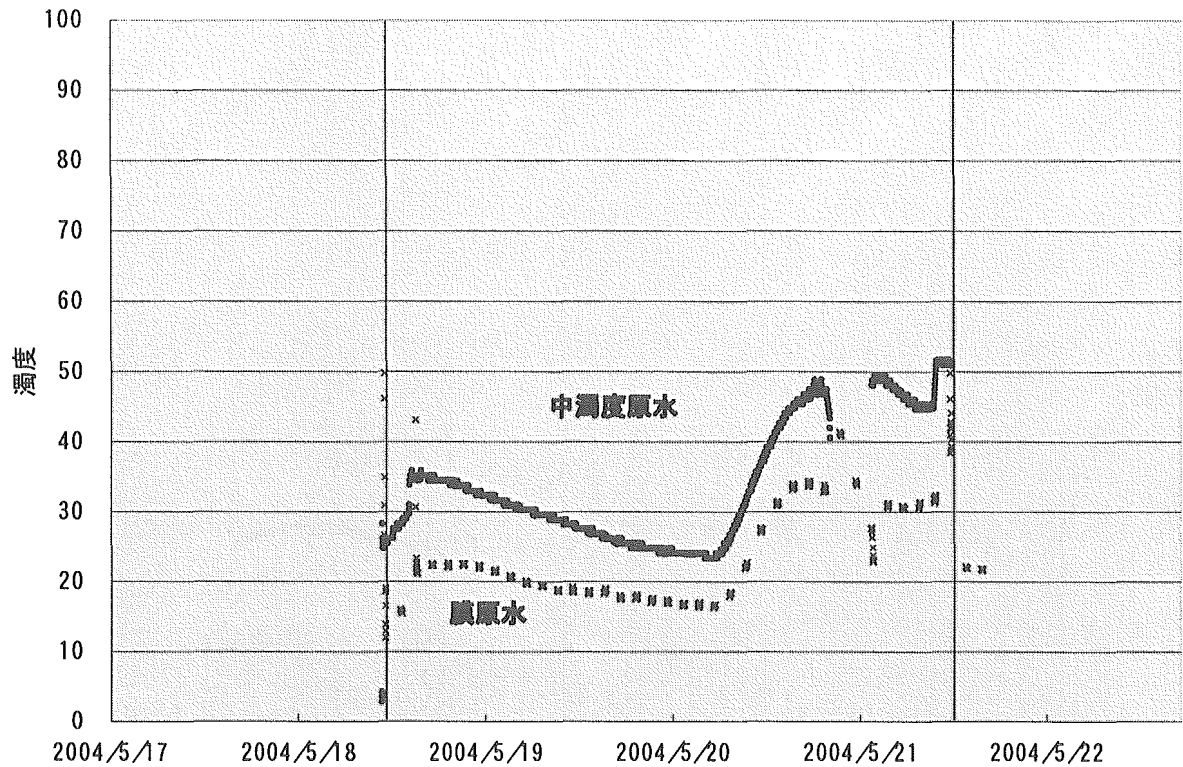


図 3.2.3-17 D系における中程度原水濁度と膜原水濁度の変化

1-2) 前処理による濁度低減

前処理による濁度の低減効果は、凝集沈殿を前処理とした A 系で最も大きく、活性炭ろ過を前処理とした C 系、直接ろ過を前処理とした B 系の順で濁度低減効果が大きかった。なお、B 系、C 系の膜原水濁度は、直接ろ過、活性炭ろ過のろ過継続時間の経過に従い上昇し、洗浄終了後は低下する傾向を示した。

1-3) 前処理による水質変化

前処理における濁度以外の表に水質分析結果を示す。系列ごとの原水水質は一定ではなく、期間を通して実験原水の影響を受け安定していないため、原水水質は一定とした比較はできないが、いずれの前処理を適用した系列ともに、色度、有機物指標ともに低減傾向が認められる。表に現地分析の結果を、表 3.2.3-5 に外部分析の結果を示す。

表 3.2.3-5 連続濁度添加実験時の膜ろ過水水質

	A系	B系	C系	D系
濁度(度)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
KMnO ₄ 消費量(mg/L)	1.5	2.3	1.2	1.0
TOC(mg/L)	0.86	0.98	0.79	0.86
鉄(mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
アルミニウム(mg/L)	0.09	0.08	0.09	0.08

表 3.2.3-6 連続濁度添加時の各系列における水質変化

	水温 (°C)			pH (-)			紫外線吸光度 (E260) (-)			濁度 (度)			色度 (度)		
	連続濁度原水	膜原水	膜ろ過水	連続濁度原水	膜原水	膜ろ過水	連続濁度原水	膜原水	膜ろ過水	連続濁度原水	膜原水	膜ろ過水	連続濁度原水	膜原水	膜ろ過水
A系	18.4	18.9	18.7	8.2	22.5	6.9	0.099	0.062	0.060	22.5	6.9	<0.1	6.4	2.9	0.4
B系	18.5	18.4	18.2	8.0	23.8	12.0	0.081	0.064	0.056	23.8	12.0	<0.1	7.4	3.2	0.2
C系	21.3	22.2	22.5	8.1	18.8	6.3	0.092	0.046	0.042	18.8	6.3	<0.1	4.0	1.5	0.3
D系	23.8	23.7	23.9	8.0	32.9	30.2	0.093	0.086	0.069	32.9	30.2	<0.1	3.7	3.3	0.9

	過マンガン酸カリウム消費量 (mg/L)			TOC (mg/L)			鉄 (mg/L)			マンガン (mg/L)			アルミニウム (mg/L)		
	連続濁度原水	膜原水	膜ろ過水	連続濁度原水	膜原水	膜ろ過水	連続濁度原水	膜原水	膜ろ過水	連続濁度原水	膜原水	膜ろ過水	連続濁度原水	膜原水	膜ろ過水
A系	10.8	4.3	1.5	3.4	2.2	0.86	0.96	0.27	<0.01	0.071	0.022	<0.005	0.96	0.95	0.09
B系	14.5	8.7	2.3	4.9	3.7	0.98	0.98	0.48	<0.01	0.097	0.051	<0.005	1.0	1.2	0.08
C系	6.9	3.4	1.2	2.4	1.6	0.79	0.96	0.28	<0.01	0.094	0.030	<0.005	1.1	0.81	0.09
D系	14.6	14.6	1.0	3.9	3.6	0.86	1.5	1.3	<0.01	0.11	0.11	<0.005	1.5	1.5	0.08

※上段は綾瀬浄水場合同実験現地分析、下段は（財）千葉県薬剤師会検査センター分析による

1-4) 膜差圧への影響

図 3.2.3-18~21 に系列ごとの膜差圧の変化を示す。1 物理洗浄間隔内の膜差圧の変化をみると、濁度低減効果の大きい A 系で膜差圧上昇が最も小さく、直接膜に導入した D 系で最も大きかった。

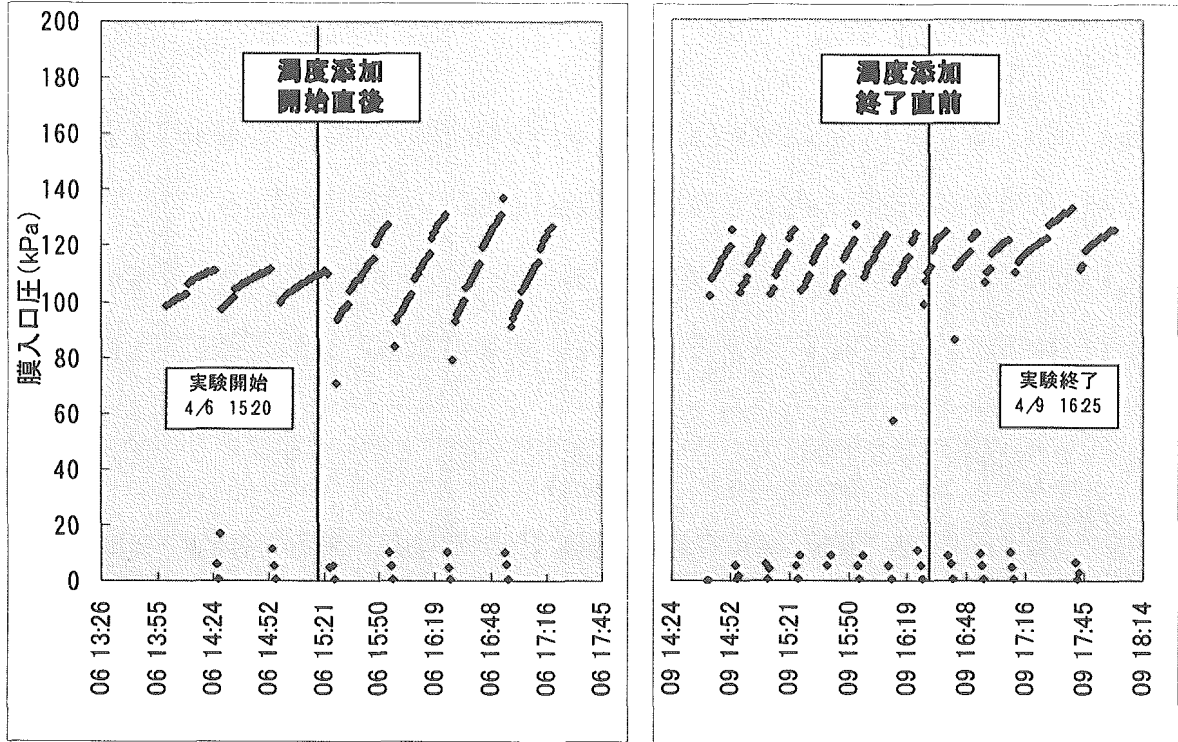


図 3.2.3-18 A 系列における膜差圧の変化

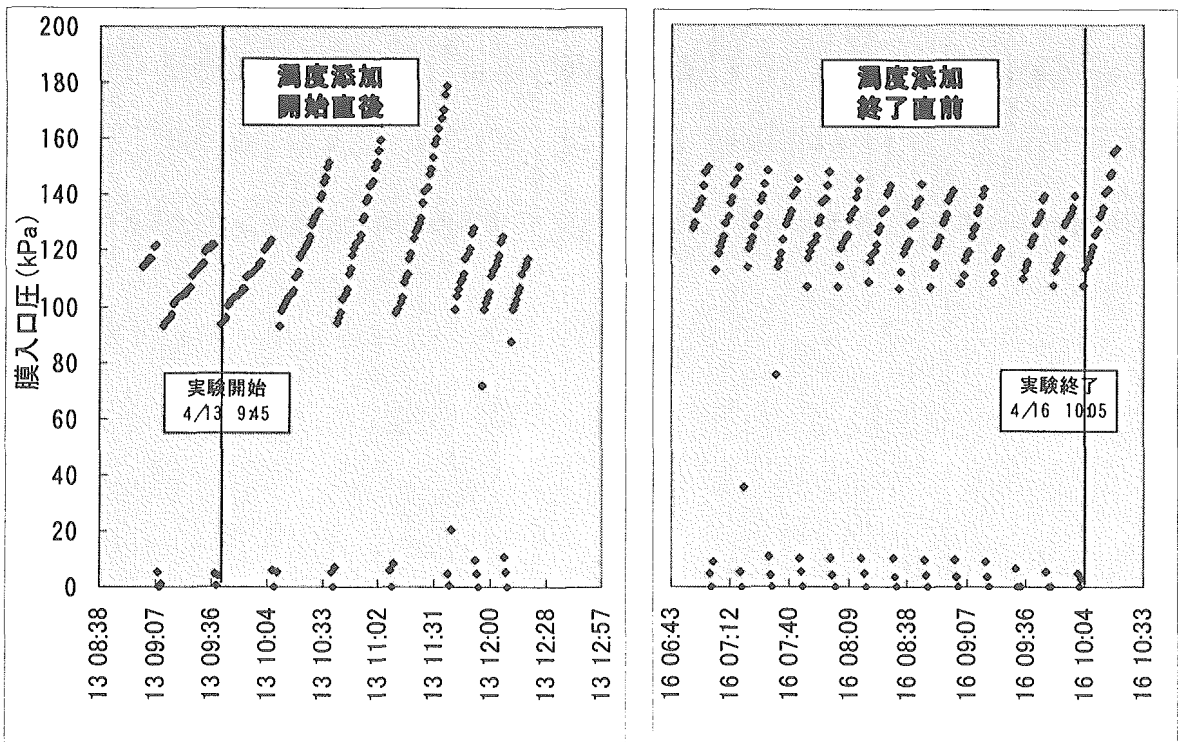


図 3.2.3-19 B 系列における膜差圧の変化

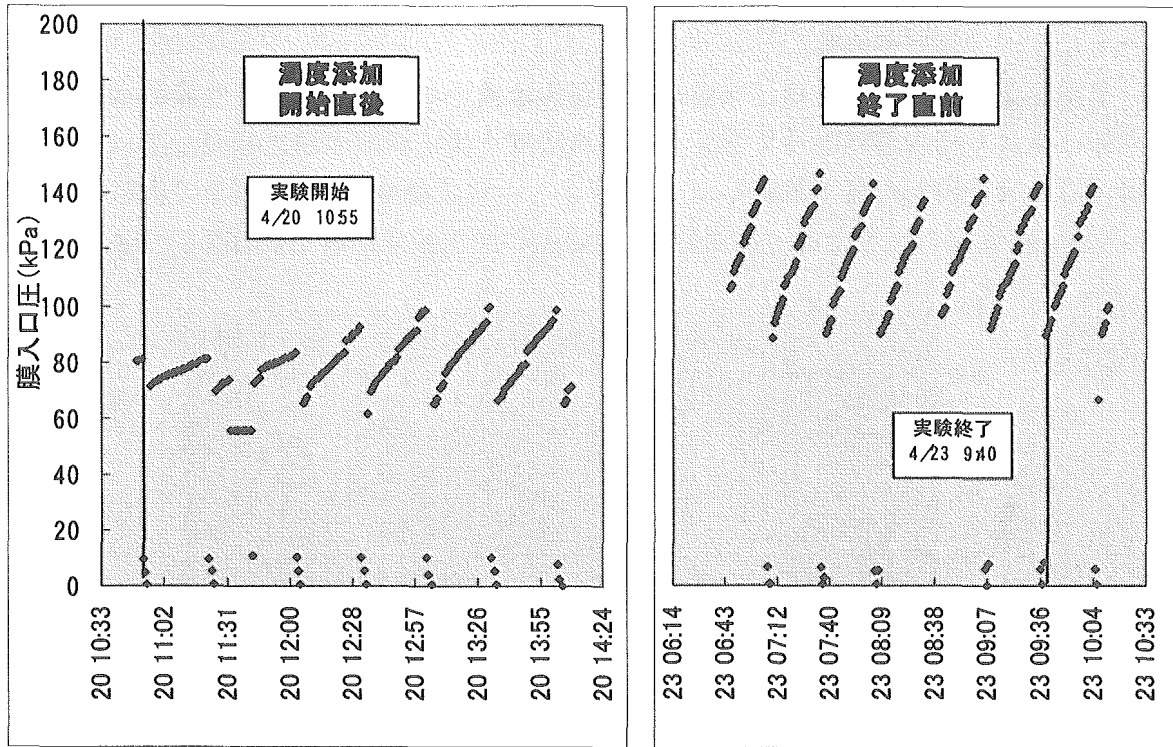


図 3.2.3-20 C 系列における膜差圧の変化

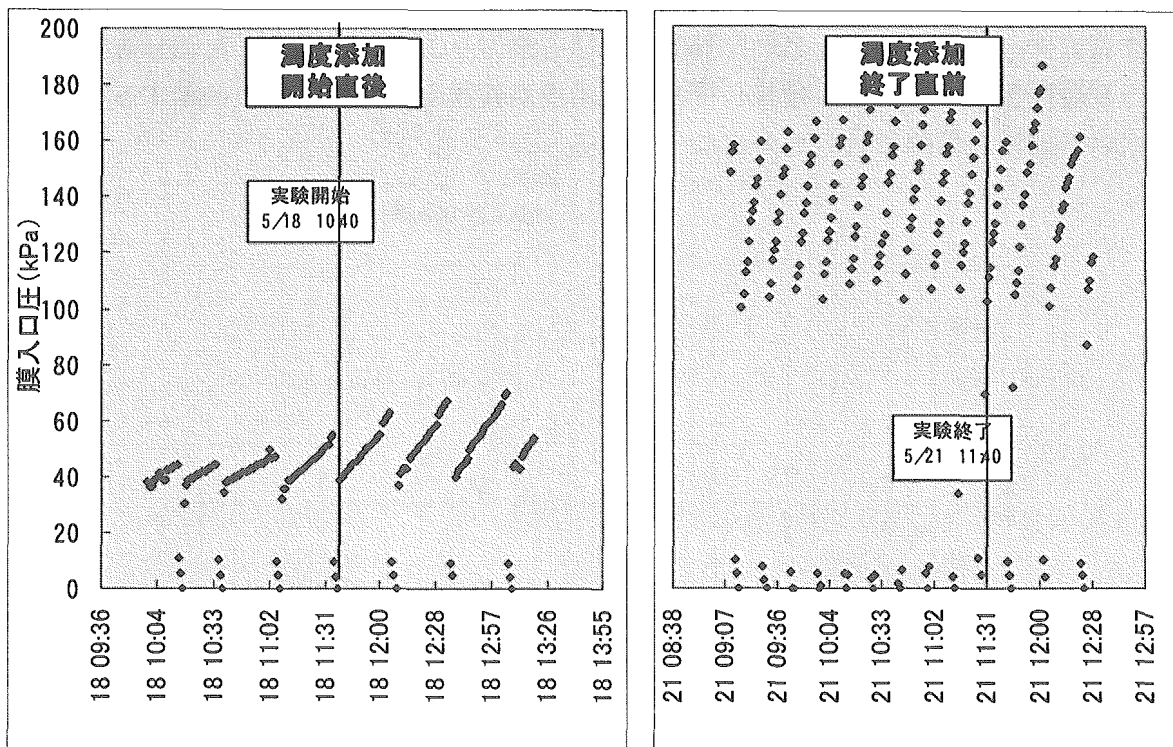


図 3.2.3-21 D 系列における膜差圧の変化

2) ピーク濁度添加実験

2-1) ピーク濁度の推移

ピーク濁度添加実験の原水は、事前に濃縮濁度水槽中に貯留した高濁度濃縮水に対し、実験開始直後より濁度濃縮膜にて濃縮した連続濁度を濃縮濁度水槽に補充した。このため、原水濁度は、実験開始直後に貯留した 300 度から、連続濁度の 37.5 度まで次第に低下した。原水濁度が 5 度で一定であった場合の、理論上の濁度減衰曲線を図 3.2.3-22 に示す。

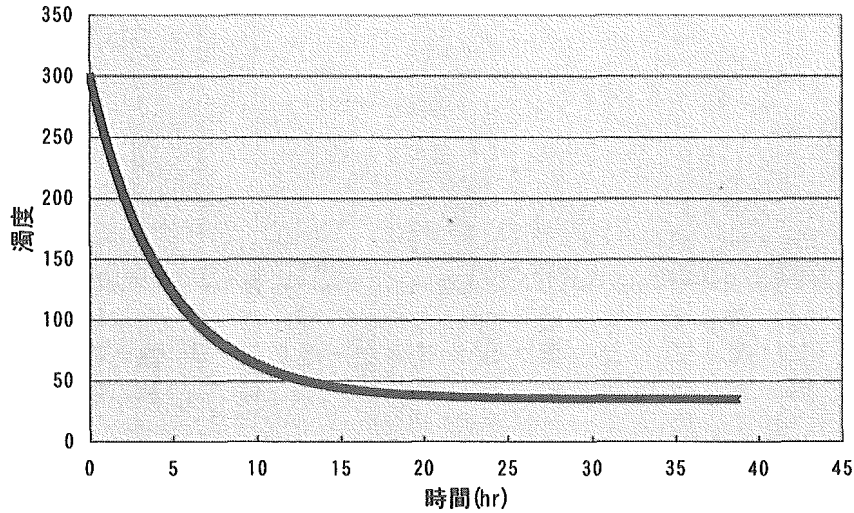


図 3.2.3-22 理論上のピーク濁度減衰曲線

平成 15 年度に実施した「全国浄水場原水水質調査報告」の結果から、ピーク濁度 300 ~ 400 度のケースについて、ピーク濁度の推移を図 3.2.3-23 に示す。大部分のピーク濁度は 24 時間程度で数十度に低減しており、濁度濃縮膜から実験装置に供給するピーク濁度原水の理論減衰曲線に近いものとなっている。

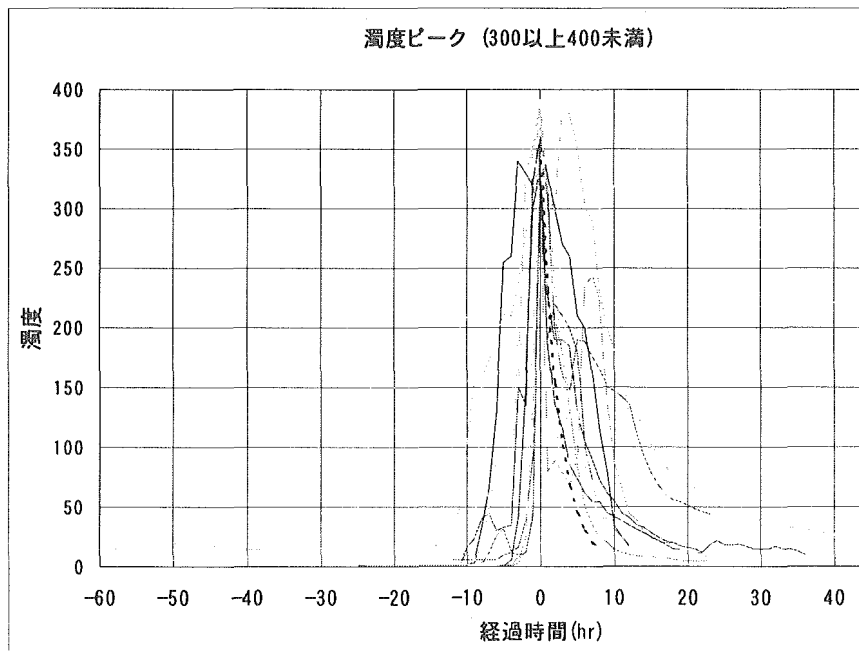


図 3.2.3-23 全国浄水場原水のアンケート結果によるピーク濁度の推移

しかしながら、実際には、原水濁度が一定せず、また、濃縮濁度水槽が完全攪拌ではないため、異なった濁度の挙動を示した。系列ごとに実験時のピーク濁度の推移を図 3.2.3-24～27 に示す。

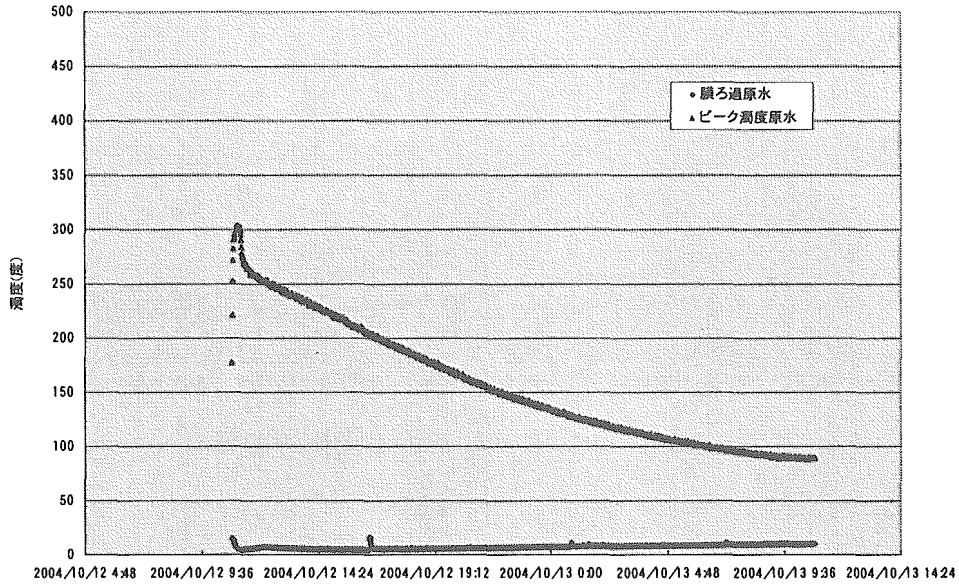


図 3.2.3-24 A系における濁度の推移

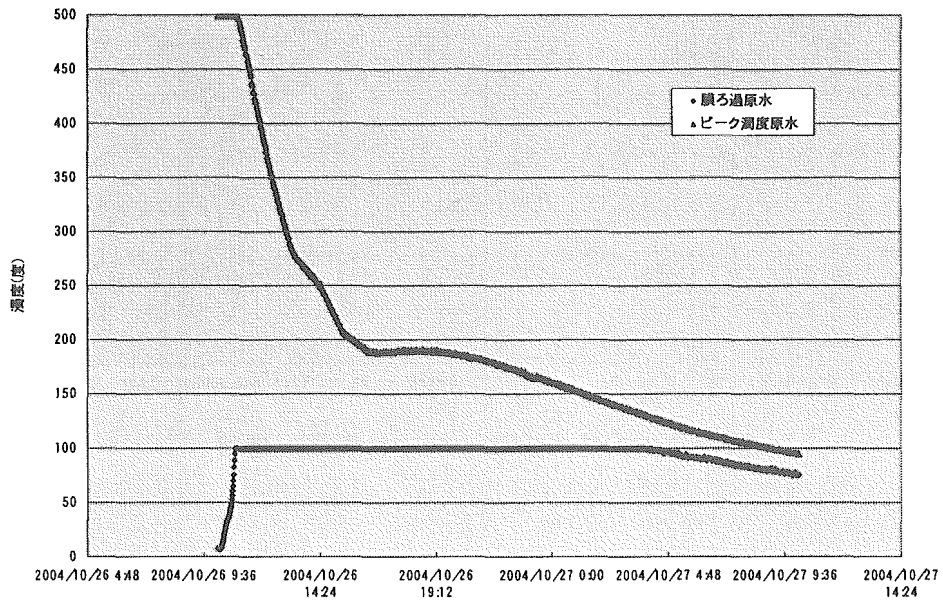


図 3.2.3-25 B系における濁度の推移

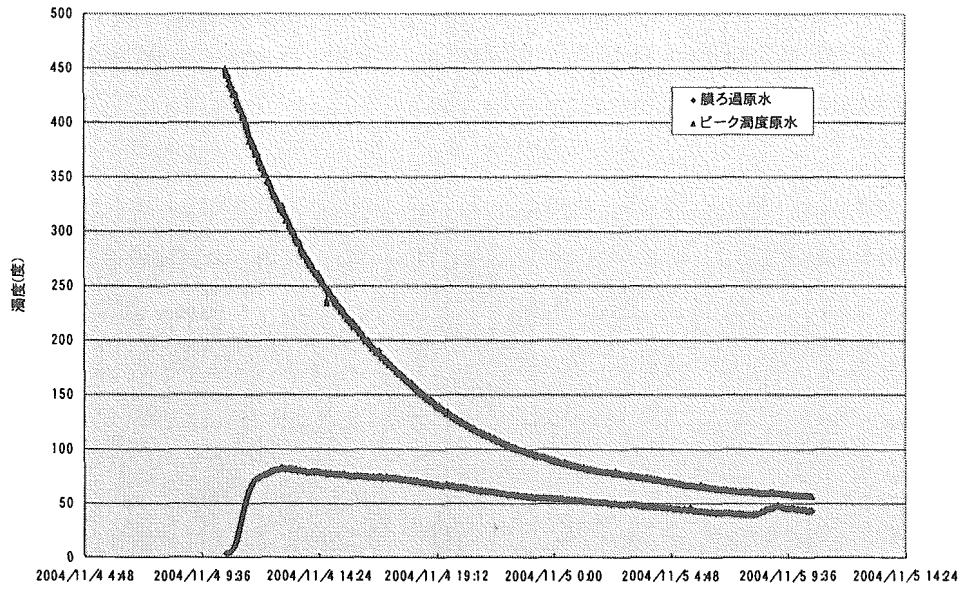


図 3.2.3-26 C系における濁度の推移

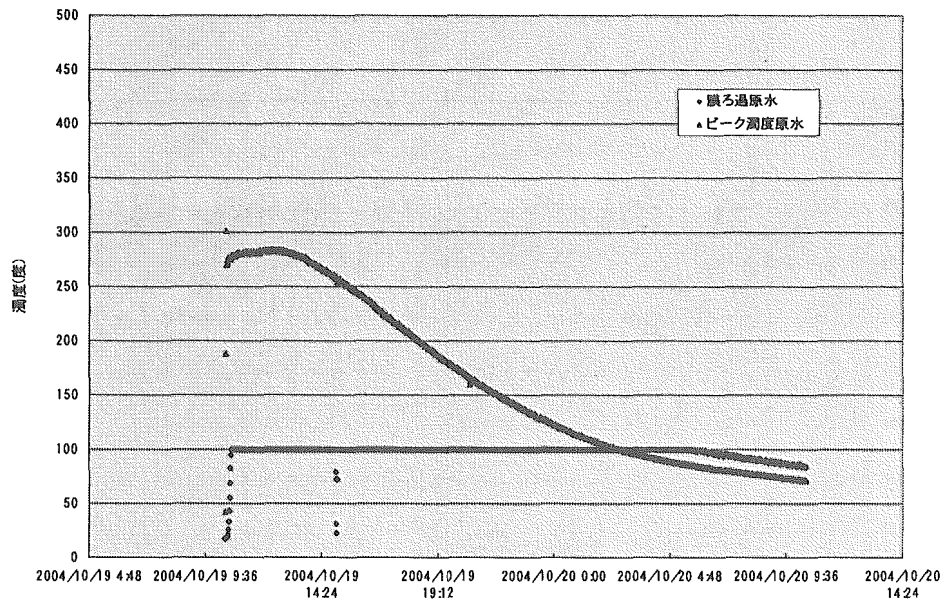


図 3.2.3-27 D系における濁度の推移

2-2) 前処理による濁度低減

前処理による濁度の低減効果は、凝集沈殿を前処理としたA系で最も大きく、ピーク濁度到達時においても20度以下の濁度を保持できた。活性炭ろ過を前処理としたC系においては、濁度は100度を下回る程度まで低減したが、直接ろ過を前処理としたB系においては、ピーク濁度到達後、濁度は100を超過した。

2-3) 前処理による水質変化

表に水質分析結果を示す。原水水質が安定していないため、必ずしも原水水質は一定ではないが、いずれの前処理を適用した系列ともに、色度、有機物指標ともに低減傾向が認められる。

表 3.2.3-7 高濁度添加実験時の膜ろ過水水質

	A系	B系	C系	D系
濁度(度)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
KMnO ₄ 消費量(mg/L)	0.8	0.7	0.7	0.7
TOC(mg/L)	0.51	0.40	0.40	0.50
鉄(mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
アルミニウム(mg/L)	0.04	0.05	0.04	0.03

2-4) 膜差圧への影響

図 3.2.3-28~31 に系列ごとの膜差圧の変化を示す。1 物理洗浄間隔内の膜差圧の変化をみると、濁度低減効果の大きいA系で膜差圧上昇が最も小さく、直接膜に導入したD系で最も大きかった。

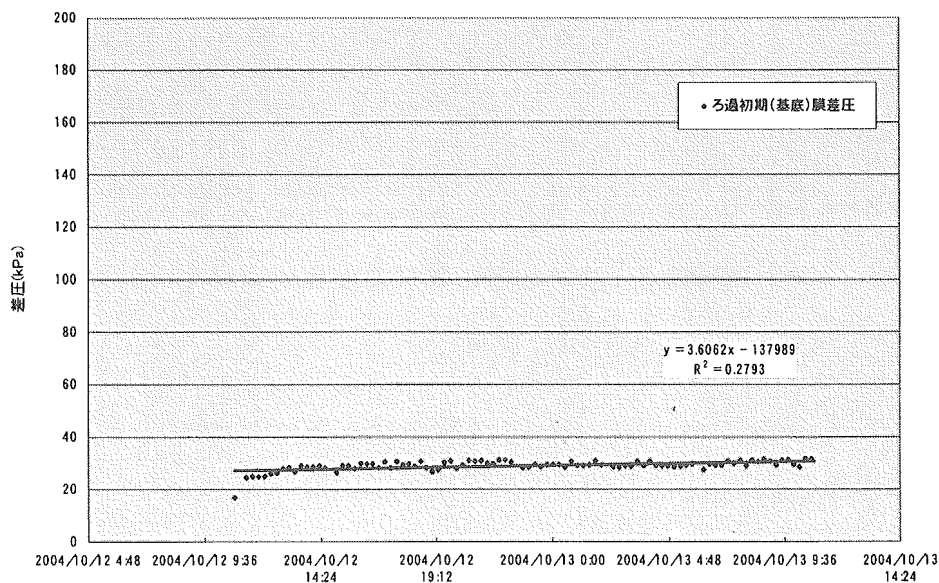


図 3.2.3-28 A系における膜差圧上昇

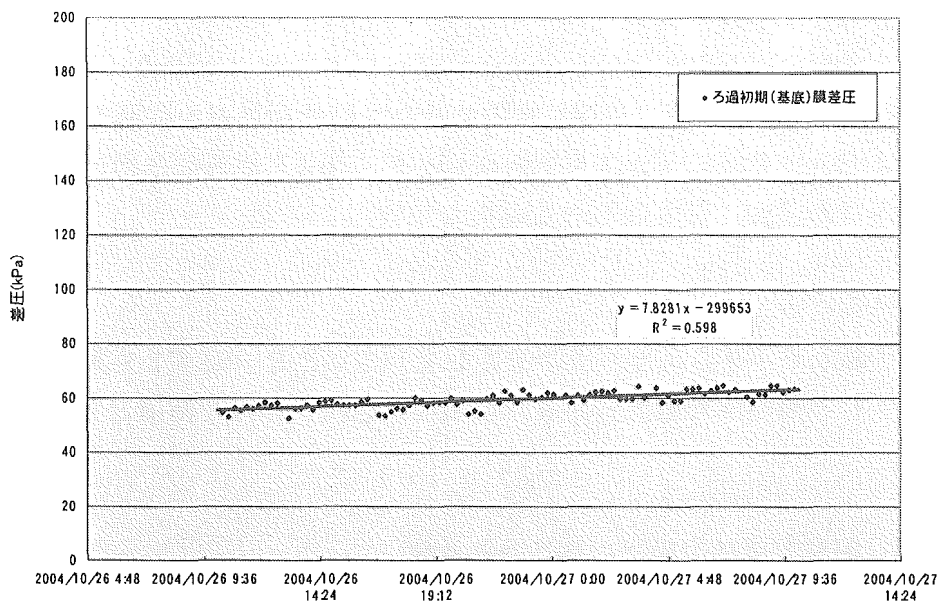


図 3.2.3-29 B系における膜差圧上昇

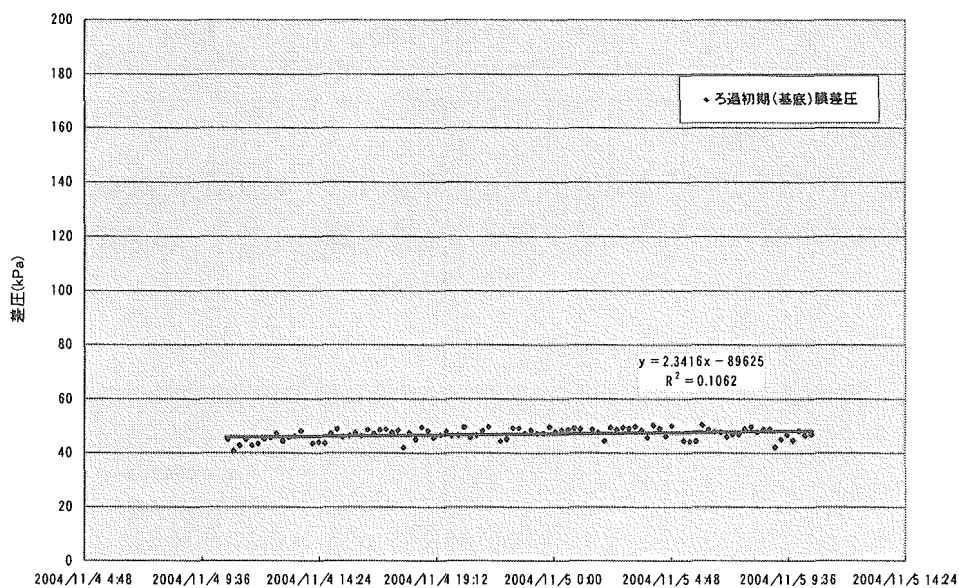


図 3.2.3-30 C系における膜差圧上昇

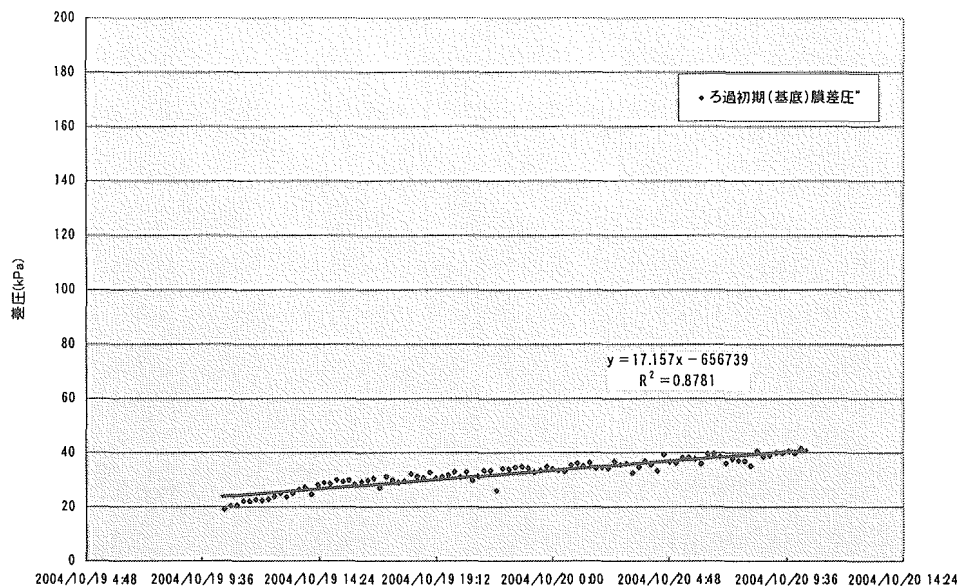


図 3.2.3-31 D系における膜差圧上昇

次に系列ごとに物理洗浄1サイクル内で上昇する膜差圧の値を求め、その経時変化を算定した。図 3.2.3-32~35 に系列ごとの膜への濁度負荷の推移を示す。D系については、ピーク濁度の原水に従い、時間の経過とともに、1サイクル内の膜差圧の上昇は、抑えられる傾向を示したが、前処理による濁質除去効果が高いA系については、経時的な変化は認められなかった。

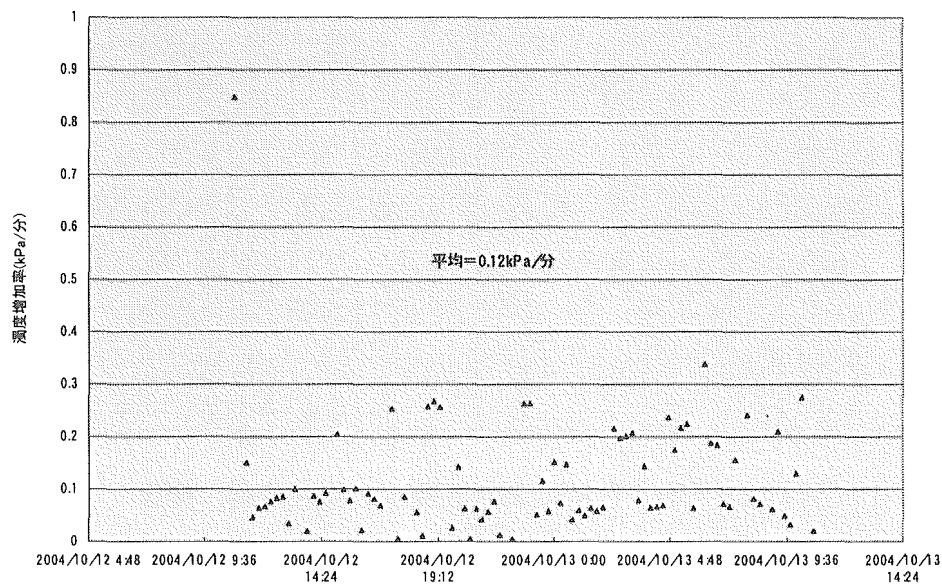


図 3.2.3-32 A系における膜への濁度負荷の推移

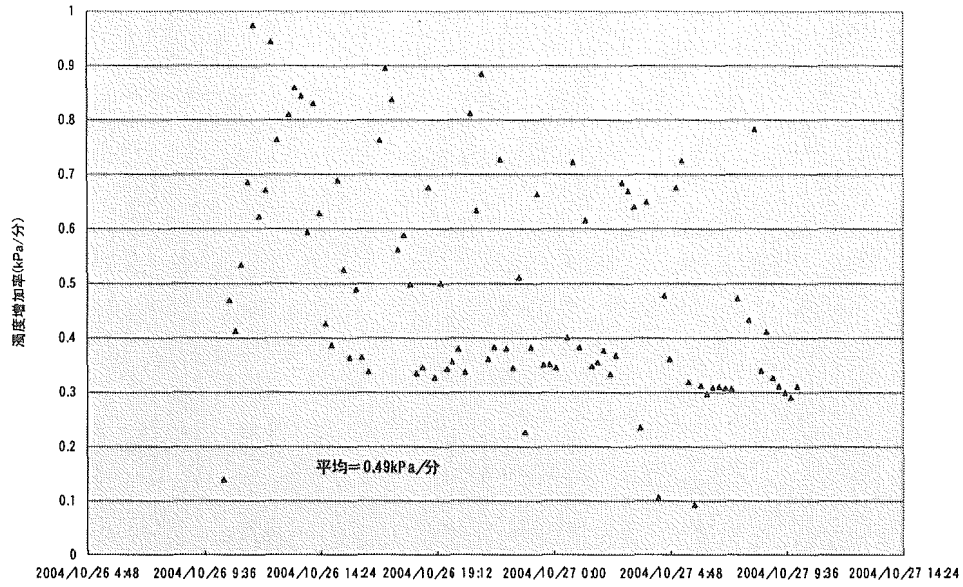


図 3.2.3-33 B系における膜への濁度負荷の推移

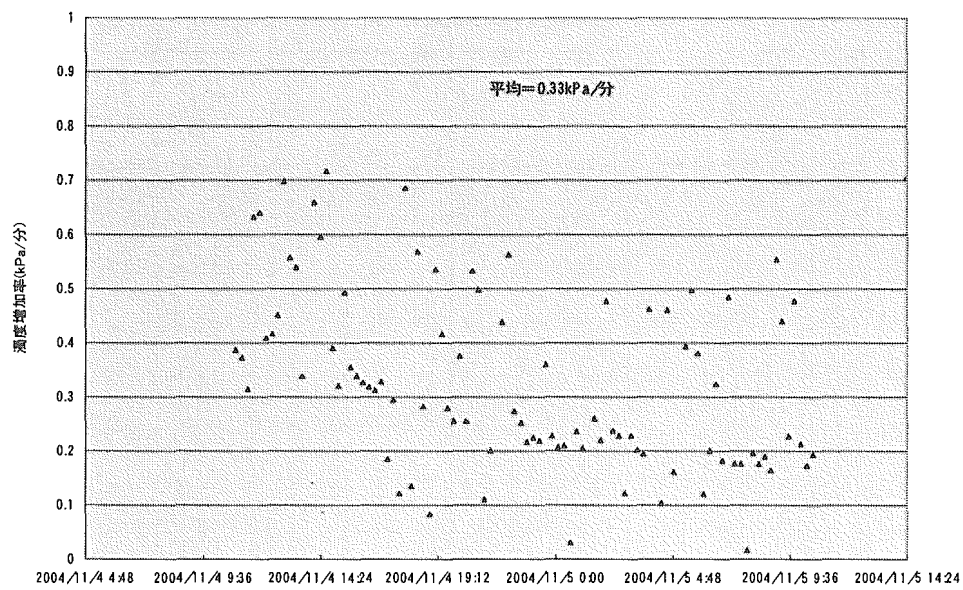


図 3.2.3-34 C系における膜への濁度負荷の推移

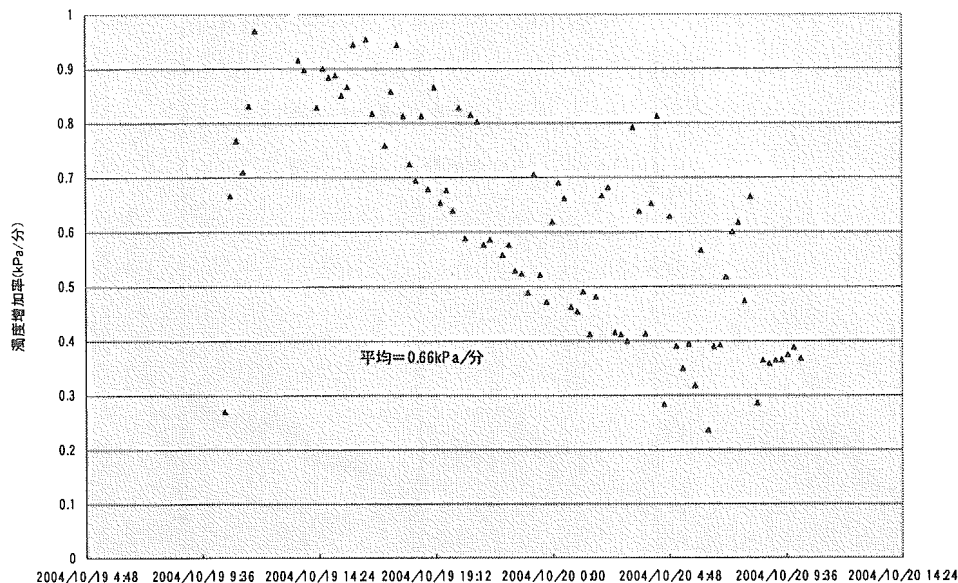


図 3.2.3-35 D 系における膜への濁度負荷の推移

(11) 考察

1) 連続濁度添加実験

各物理洗浄直後を基準とした膜差圧の推移を図 3.2.3-36 に示す。前処理を行った A～C 系では、概して膜差圧の変化は小さく、活性炭を前処理とした C 系では、物理洗浄頻度を変更することなく運転が可能であった。次に、物理洗浄 1 サイクル内で上昇する膜差圧の値を洗浄間隔（15 分または 30 分）で除した値の平均値を表 3.2.3-8 に示す。これらの指標から、凝集沈殿を前処理とした A 系は 1 洗浄サイクル内での膜差圧の上昇は最も小さいが、物理洗浄による回復はあまり大きくなく、活性炭を前処理とした C 系の方が膜差圧の上昇傾向が小さい結果となった。

表 3.2.3-8 物理洗浄サイクル内での膜差圧の上昇

	<A系>	<B系>	<C系>	<D系>
1 洗浄サイクル内の膜差圧上昇速度(kPa/分)	0.98	1.42	1.28	2.35

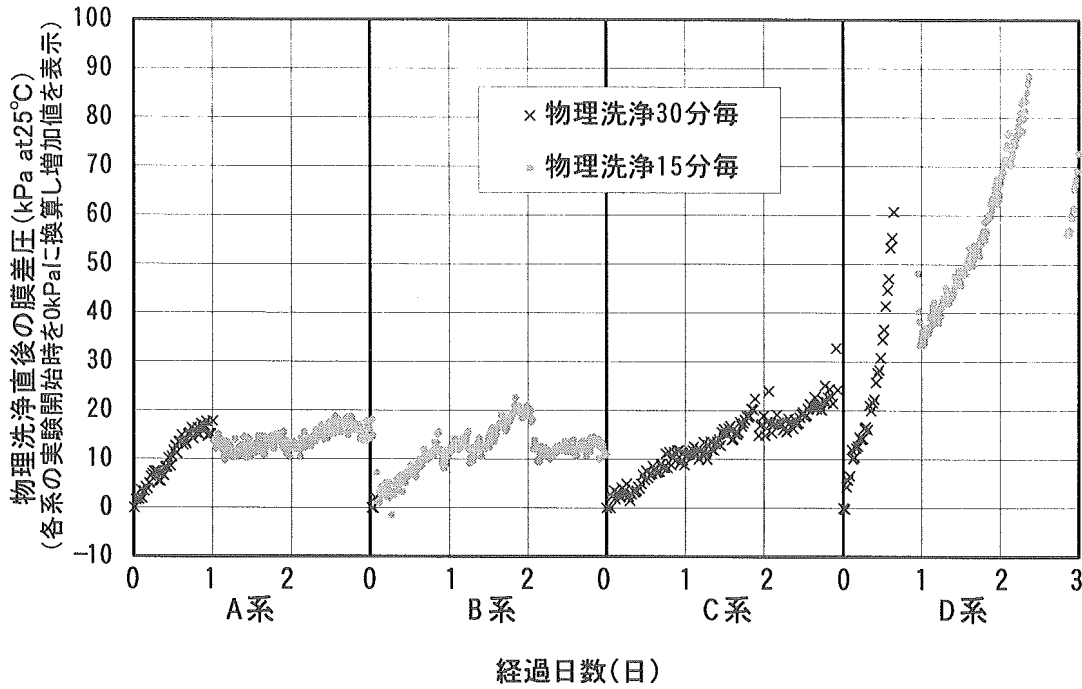


図 3.2.3-36 物理洗浄直後の膜差圧の推移

2) ピーク濁度添加実験

各系列とも原水高濁時においても連続運転が可能であり、原水高濁時においても膜ろ過水の水質は、表に示すように良好であった。また、各系列を連続濁度添加実験と同様、膜差圧の推移や洗浄サイクル内での膜差圧の上昇についても集計した結果、概してA～C系については前処理の効果により膜への影響が軽減されており、図 3.2.3-37 に示すようにピーク濁度期間中の膜差圧の上昇は、活性炭を前処理としたC系で最も小さく、また、表 3.2.3-9 に示すように洗浄サイクル内での膜差圧の上昇は、凝集沈殿を前処理としたA系が最も小さかった。

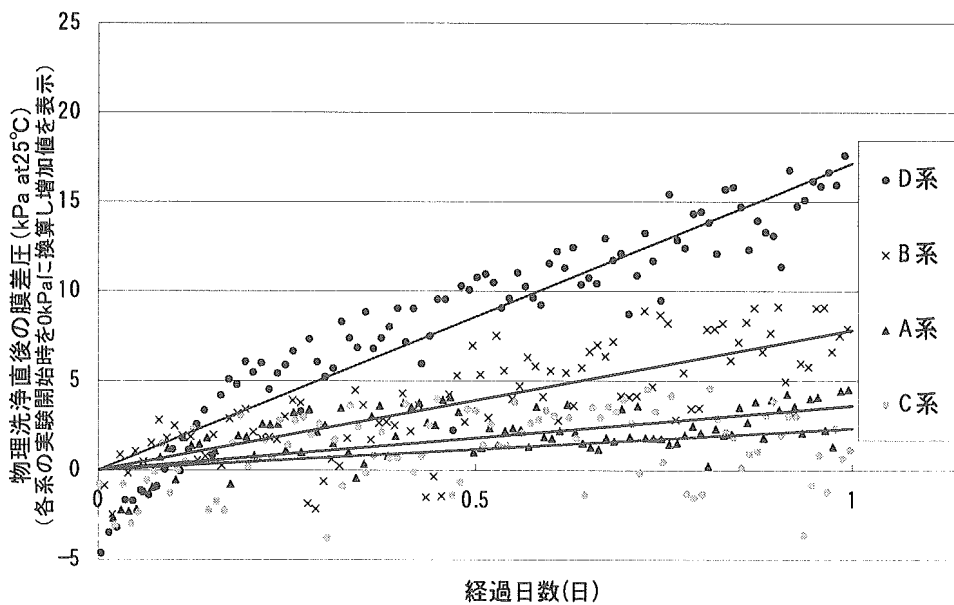


図 3.2.3-37 物理洗浄直後の膜差圧の推移

表 3.2.3-9 物理洗浄サイクル内での膜差圧の上昇

	<A系>	<B系>	<C系>	<D系>
1 洗浄サイクル内の膜差 圧上昇速度(kPa/分)	0.12	0.49	0.33	0.66

(12) 結論と今後の課題

連続濁度やピーク濁度を添加した原水を、膜を組み込んだ浄水処理システムに導入した結果、洗浄頻度を変更することにより、各系列ともに連続して運転が可能であった。また、前処理を行うことにより膜への負荷が軽減され、膜差圧の上昇が抑制されたことが予想された。

本実験では、前処理については、必ずしも最適条件では実施していないことや、実験装置の処理能力限界から同一期間、同一原水水質にて実施していないことなど、適切な実験条件を設定したとは言えないが、一定の前処理の効果が確認できた。なお、本報告で用いた評価方法は一例であり、今後は、膜ろ過を組み込んだ浄水システムの普遍的な評価方法が期待される。

＜参考資料 2＞

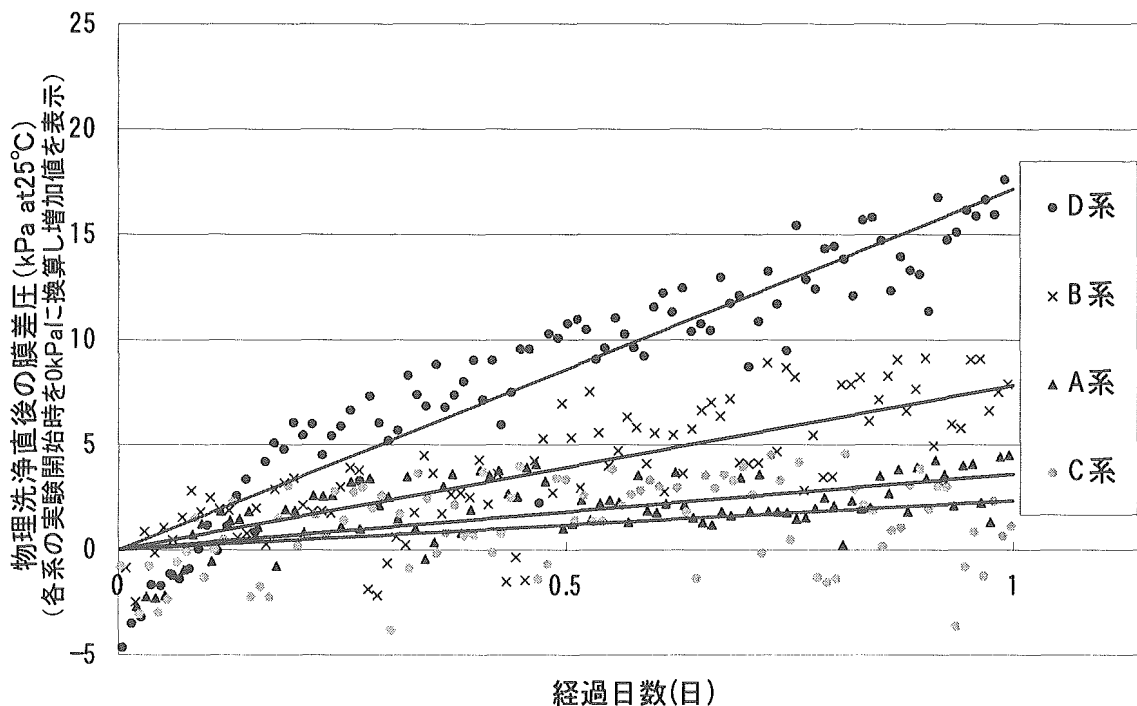
ピーク濁度添加実験における膜差圧の上昇速度についての検定

1. はじめに

濁度添加実験において、一時的な高濁度流入を想定し実施したピーク濁度添加実験について、前処理が異なる各系列の評価を行った際、物理洗浄直後の膜差圧の上昇速度を直線回帰により求め、この指標を元に各系列の順位付けを行った。ここでは、これらの順位付けが妥当であるかを検討するために、クラスカル・ウォリス検定を行い、系列間順位の検証を行うこととした。

2. 対象データ

検証に際しては、図-1に示すピーク濁度添加実験時の物理洗浄直後の膜差圧上昇速度データを使用することとし、要素ごとに物理洗浄直後の膜差圧の上昇速度を求め、その平均値に有意な差があるかを、有意水準5%で両側検定を行うこととした。



図(参考 2)-1 ピーク濁度添加実験時の物理洗浄直後の膜差圧上昇速度

3. 検定

A系～D系の4群の標本について、クラスカル・ウォリス検定により、有意な順位差が

あるかを検討した。有効な標本サイズおよび各群の順位和を表(参考2)-1に示す。

表(参考2)-1 各系列に関する平均順位

系列	標本サイズ	平均順位
A系	93	138.3
B系	96	206.5
C系	92	115.4
D系	94	289.3

この際、検定統計量 $S_x = 145.7$ であり、自由度3の χ^2 分布において5%上側確率が7.8であることから、全体の平均値には有意な差があると判断できる。

次に、各系列間に有意な差があるかをシェッフェの方法により検討した。結果を表-2に示す。

表(参考2)-2 各系列間の対比較による有意確率

系列間	検定統計量	有意確率
A系 vs. B系	18.7	0.0003147
A系 vs. C系	2.1	0.5584528
A系 vs. D系	90.7	0.0000000
B系 vs. C系	33.2	0.0000003
B系 vs. D系	27.7	0.0000042
C系 vs. D系	119.7	0.0000000

以上の計算から、有意水準5%では、A系とC系の間に有意な差はないが、そのほかの各系列間については有意な差があり、最大でも危険率は0.03%以下である。

4. 結果

有意水準5%では、A系とC系に有意な差は無いことから、物理洗浄直後の膜差圧の上昇速度による検討の結果、各系列の評価は、

(差圧上昇が小さい) A系 \approx C系 $>$ B系 $>$ D系 (差圧上昇が大きい)
とすることが妥当である。

3.2.4 高フラックス実験

(1) 実験目的

連続運転実験期間内で負荷実験として、膜ろ過フラックスを一定期間高めた実験を実施し、緊急対応時の膜の運転挙動を調査する。

(2) 実験概要

2～3日間にわたり膜ろ過フラックスを20～30%程度高めた運転を行ない、フラックスを変更する前後の運転挙動を確認した。実験は、原水水質が比較的安定している時期のうち高水温期と低水温期を選択し、4系列同時に実施した。

(3) 実験条件

1) 実験期間

- ①平成16年6月16日～6月23日（高水温期）
- ②平成16年11月15日～11月19日（低水温期）

2) 負荷条件

フラックスを変更

- ① $2.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \rightarrow 3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ （3日間） $\rightarrow 2.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
- ② $3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \rightarrow 4.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ （2日間） $\rightarrow 3.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

(4) 実験結果

1) 水質

表3.2.4-1に、実験期間中の水質分析値の平均値を示した。両実験期間中とも、フラックスを戻した際に降雨があり、濁度や色度が上昇したが、他の項目については、変動は見られなかった。

表3.2.4-1 高フラックス実験時の水質分析値の平均値

水質項目 平均値	A系 膜ろ過原水		B系 膜ろ過原水		C系 膜ろ過原水		D系 膜ろ過原水	
	高水温	低水温	高水温	低水温	高水温	低水温	高水温	低水温
水温(°C)	23.0	14.6	23.0	14.6	23.0	14.6	22.3	14.6
pH(-)	7.5	7.4	7.5	7.4	7.5	7.3	7.5	7.5
濁度(度)	4.5	4.0	1.6	2.1	1.2	1.2	6.9	6.8
色度(度)	1.2	0.7	1.1	0.6	1.0	0.5	4.5	5.5
E260(-)	0.059	0.029	0.063	0.030	0.043	0.024	0.085	0.046

2) 温度補正圧力の変動

図3.2.4-1に実験期間中の経時変化、表3.2.4-2に膜差圧上昇速度を示した。フラックスを上げた時に膜差圧の上昇速度が増大するが、フラックスを下げると膜差圧は低下した。低水温期のD系列では、原水を直接膜ろ過する系列であることから膜ろ過への負荷が実験前から高く、ろ過サイクルを15分としてもフラックスを変更後すぐに停止したため、実験が正常に行なえなかった。

表 3.2.4-2 実験期間中の膜差圧上昇速度

高水温期（6月）					低水温期（11月）				
フラックス m ³ /(m ² · d)	A系 kPa/d	B系 kPa/d	C系 kPa/d	D系 kPa/d	フラックス m ³ /(m ² · d)	A系 kPa/d	B系 kPa/d	C系 kPa/d	D系* kPa/d
2.5	0.484	0.119	0.317	0.227	3.0	3.547	5.271	1.444	47.103
3.0	3.370	4.114	2.587	9.432	4.0	8.072	48.092	10.647	—
2.5	-3.016	-3.083	-2.632	-6.106	3.0	-4.323	0.035	-1.843	25.787

※：D系・高水温期は15℃、A～C系・20℃

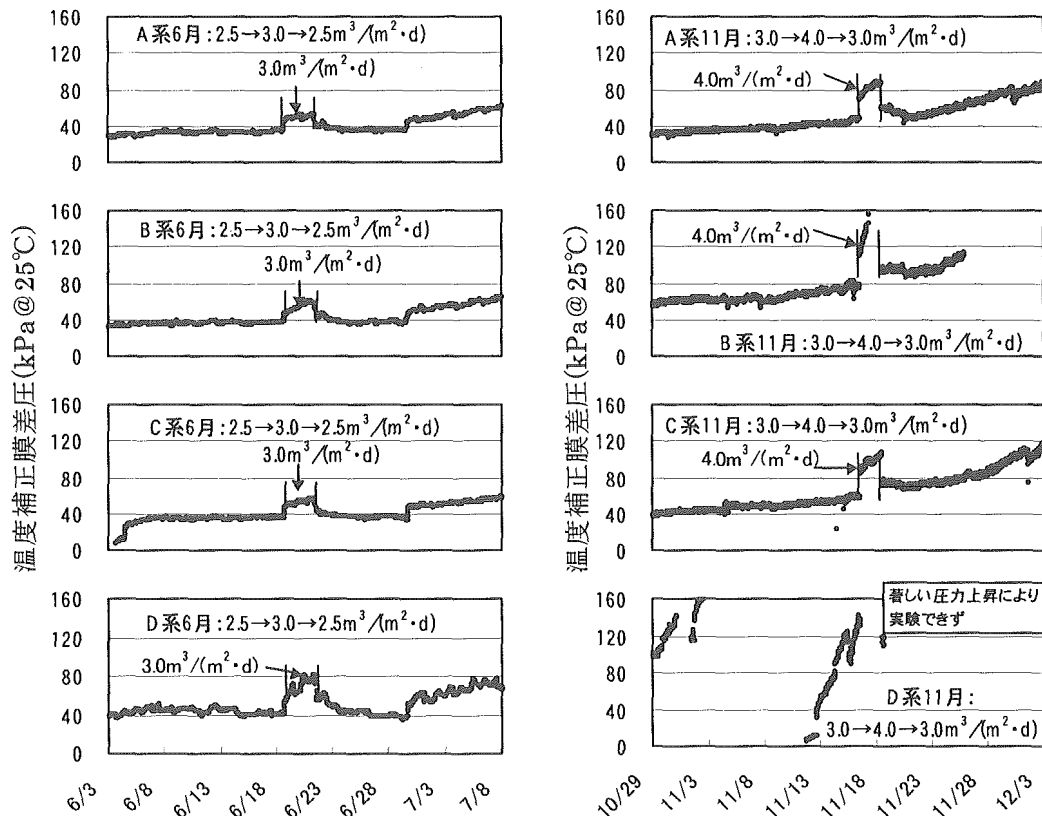


図 3.2.4-1 高フラックス実験時の温度補正膜差圧の経

(5) 考察

フラックスを上げた場合、膜差圧の上昇速度が上がるが、フラックスを上げる時間が2～3日程度の短期的な場合では、フラックスに下げると元のベースラインと変わらない挙動を示した。

処理フローによる負荷の違いは、高水温期、低水温期ともに、D系が最も高く、次いでB系の順となり、A系およびC系は季節により結果が異なった。また、フラックスを下げた際の膜差圧の低下速度は、季節により結果が異なり、はっきりとした傾向はなかった。

膜差圧の上昇速度は、実験開始時における膜の使用時間（特に前回の薬品洗浄からの使用時間）が異なることや、データ集計期間が短いことから、前処理装置の洗浄間隔による影響を受けていると考えられる。

一方、フラックスを下げた場合に元のベースラインと変わらない挙動を示すことから、膜間差圧の上昇は膜のファウリングによるものではなく、膜モジュールに流入する懸濁物質などによる流路閉塞が原因となりろ過抵抗が上昇したと考えられる。

（6） 結論

通常の運転が良好な状況においては、短期間でフラックスを増加しても、元の膜差圧の挙動に大きく影響を与えることはなかった。

また、フラックスを上げた場合の膜差圧の上昇原因としては、物理洗浄による洗浄効果の低減が考えられることから、原水負荷が増加した場合には物理洗浄方法や洗浄頻度を選定することにより、回収率は下がるが膜差圧の上昇を抑制することができる。