

浄水処理実験 実験レポート

03250114 大隅伸明

本実験演習の目的

上水実験課題では以下の項目を扱い、浄水処理の物理化学的な原理について定性的・定量的な両面から理解を深めることを目的とする。

1. 凝集沈殿における最適条件の決定
2. 急速濾過における目詰まり状況の解析
3. オゾンによる有機物分解
4. 活性炭の吸着特性の解析
5. 消毒
 1. 塩素消毒
 2. 紫外線消毒

課題 A オゾンによる有機物分解

実験概要

実験原理

オゾン処理においては、オゾンの強力な酸化力によって高分子の難分解性有機物が酸化分解される。

水中のオゾンの

そこで本実験では、pH がオゾンによる有機物分解に与える影響を調べるため、酸性・中性・アルカリ性の 3 種類の緩衝溶液にメチレンブルーを一定量加え、オゾン通気を行った。一定時間ごとにオゾン通気中のフラスコから採水を行い、メチレンブルー濃度 (2 分毎)、TOC 濃度、pH、オゾン濃度 (最初と最後) の測定を行った。メチレンブルー濃度の測定に当たっては、吸光度法 (665nm) を用いた。メチレンブルーは吸着性が高いことから、吸光度測定時には石英セルではなくプラスチックセルを使用し、こまめに Milli-Q 水を測定することでセルに吸着していないかを確認した。溶存オゾン濃度は HACH 社の簡易キットを用いてインディゴ法で測定した。TOC 濃度測定には島津製作所 TOC-V を使用した。

実験手順

実験の詳細な手順を以下に示す。

1. 予め分光光度計の電源を入れ、内蔵ランプの出力を安定させる
2. 試薬調整
以下の試薬・溶液を調整する。

Table1: オゾン検量線の元データ

MB 濃度 (mg/L)	665nm 吸光度
0.0	0.000
0.2	0.013
0.5	0.031
1.0	0.073
2.0	0.157
5.0	0.352
10.0	0.705
20.0	1.417

- pH2, pH7.2, pH12 の緩衝溶液
 - pH2:
 - pH7.2:
 - pH12:
- メチレンブルー標準原液 (1g/L)
 - 緩衝溶液にはこの標準原液を、500mL あたり 25mL 添加した。

3. 検量線の作成

結果の章で示すように、0mg/L~20mg/L の範囲で標準列を作成した上で、検量線が線形性を保つ範囲のデータを採用した。

4. オゾン通気準備 (2, 3 と同時並行)

オゾン発生器を起動し、3~5 分間バイパスで湿気を追い出した。その後、Milli-Q 水 500mL に 5 分間通気し、溶存オゾン濃度を測定した。各条件での実験終了後も、同様に Milli-Q 水に通気してオゾン濃度を測定することで、オゾン発生器から発生しているオゾン濃度が一定であるかどうかを確認した。

5. オゾン処理

実験原水 (緩衝溶液 500mL にメチレンブルー標準原液 25mL を添加) を反応器に入れ、オゾンを通気する。オゾン通気開始直前を $t=0$ とし、2 分ごとに採水する。

6. 水質分析

採水したサンプルについて、メチレンブルー濃度 (全サンプル)、TOC 濃度・pH・オゾン濃度 (最初と最後のサンプル) を測定する。

結果

まず、メチレンブルー濃度算出に用いる検量線を作成した。各班の実測値を Table 1 に示す。

上記のデータを用いて最小二乗法で検量線を作成したところ、今回採用した希釈段階の全域に渡ってデータは線形な変化であることを確認することができた。検量線モデルは、R 言語の `lm` 関数により、吸光度を目的変数、メチレンブルー濃度を説明変数とした線形回帰を行うことにより導出した (以下同様)。

Figure 1 の検量線を用いて、各時刻でのメチレンブルー濃度を算出した。pH・オゾン濃度・TOC 濃度の実測

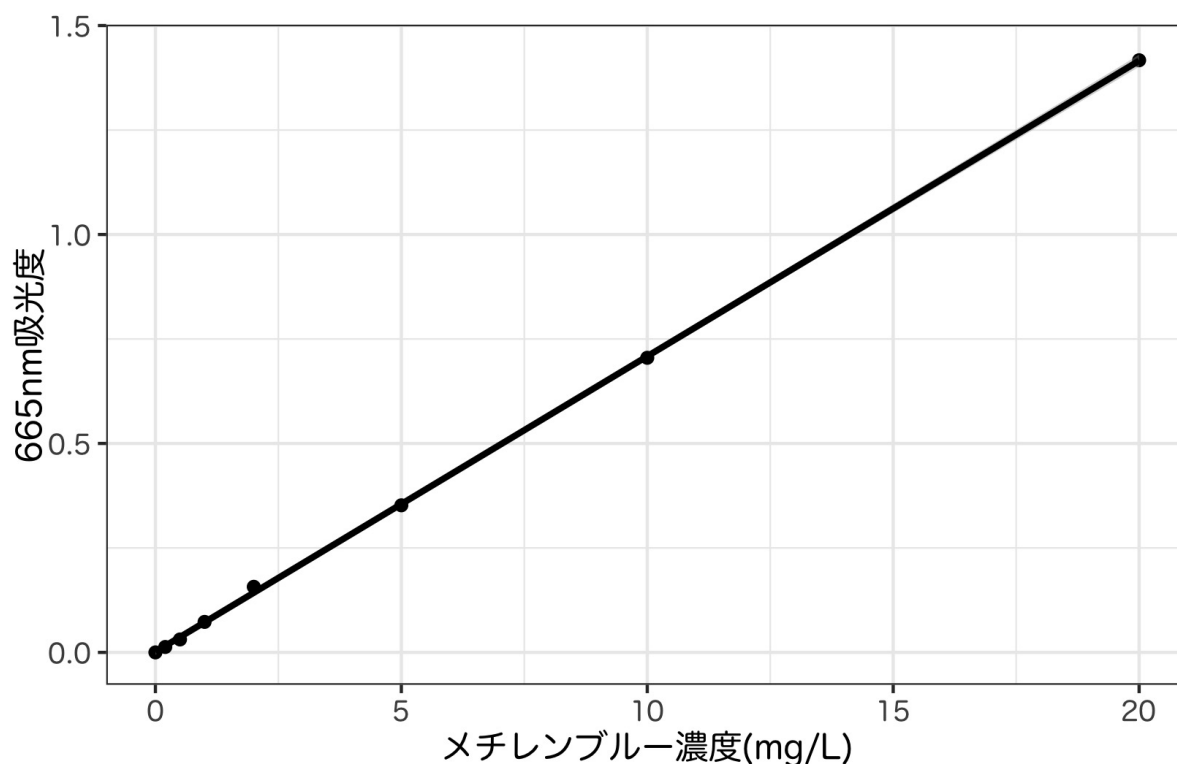


Figure1: メチレンブルー濃度の検量線

値と合わせ、Table 2 に結果を示す。

検量線法による濃度推定を行うに当たっては、ブランク試料を測定した際の吸光度を下回ったサンプルは「検出限界以下」として扱った。この点について気になり調査したが、一般的には IUPAC 発行の "Compendium of Chemical Terminology" の記載に則り、Equation 1 のような定義が用いられるとのことである。

$$LOD(Limit\ of\ Detection) = a + 3\sigma \quad LOQ(Limit\ of\ Quantification) = a + 6\sigma \quad \text{ただし、} a : \text{ブランクの平均、} \sigma : \text{ブランクの標準偏差} \quad (1)$$

しかしながら、今回の実験演習ではブランクの測定を 1 回しか行っていないため、ブランク試料の標準偏差を求めることができず、統計学的な検出限界ならびに定量限界を求められない。そこで今回はやむを得ず、1 回だけ測定したブランク試料の吸光度を機器のノイズレベルとみなし、ブランク試料の吸光度を下回ったサンプルを定量限界を下回ったサンプルとして処理することにした。本レポートにおいて検量線法を用いている他の実験においても同様の処理を行った。（例：Table 2 に示した計測結果の場合は、ブランクの吸光度は 0.000 だったため、吸光度の測定結果が負となったサンプルが「測定限界」として表記されている。）

酸性の $t=0$ でのサンプルの吸光度の値が、 $t=2$ での値よりも小さくなってしまっている。酸性・中性・アルカリ性の各条件について、TOC の値は約 15 前後で一定しているため、メチレンブルー溶液の投入量を間違えた可能性は低い。従って、吸光度測定の時点で、希釈倍率を間違えるなどの手違いがあったと推測される。

Table2: オゾン処理時の各水質指標の測定結果

メチレンブルー濃度測定						
時刻 (分)	吸光度	希釈倍率	濃度 (mg/L)	pH	オゾン濃度 (mg/L)	TOC 濃度 (mg/L)
酸性						
0	0.478	3	20.2	2.17	1.06	16.9
2	0.852	2	24.1	-	-	-
4	0.001	1	0.0	-	-	-
6	-0.001	1	定量限界以下	-	-	-
8	0.001	1	0.0	-	-	-
10	-0.004	1	定量限界以下	-	-	-
15	-0.007	1	定量限界以下	-	-	-
20	-0.003	1	定量限界以下	2.11	0.83	14.5
中性						
0	1.933	3	81.9	7.00	1.06	14.6
2	0.354	1	5.0	-	-	-
4	0.153	1	2.1	-	-	-
6	0.025	1	0.3	-	-	-
8	-0.001	1	定量限界以下	-	-	-
10	0.002	1	0.0	-	-	-
15	-0.005	1	定量限界以下	-	-	-
20	-0.002	1	定量限界以下	7.01	0.03	13.0
アルカリ性						
0	1.739	3	73.7	12.25	1.06	14.2
2	0.379	1	5.3	-	-	-
4	0.256	1	3.6	-	-	-
6	0.140	1	2.0	-	-	-
8	0.068	1	0.9	-	-	-
10	0.053	1	0.7	-	-	-
15	0.017	1	0.2	-	-	-
20	0.005	1	0.1	11.88	0.00	10.2

メチレンブルー濃度の時間変化を図示すると Figure 2 のようになった。

考察

結果の章には自分たち (3 班) のデータを示したが、

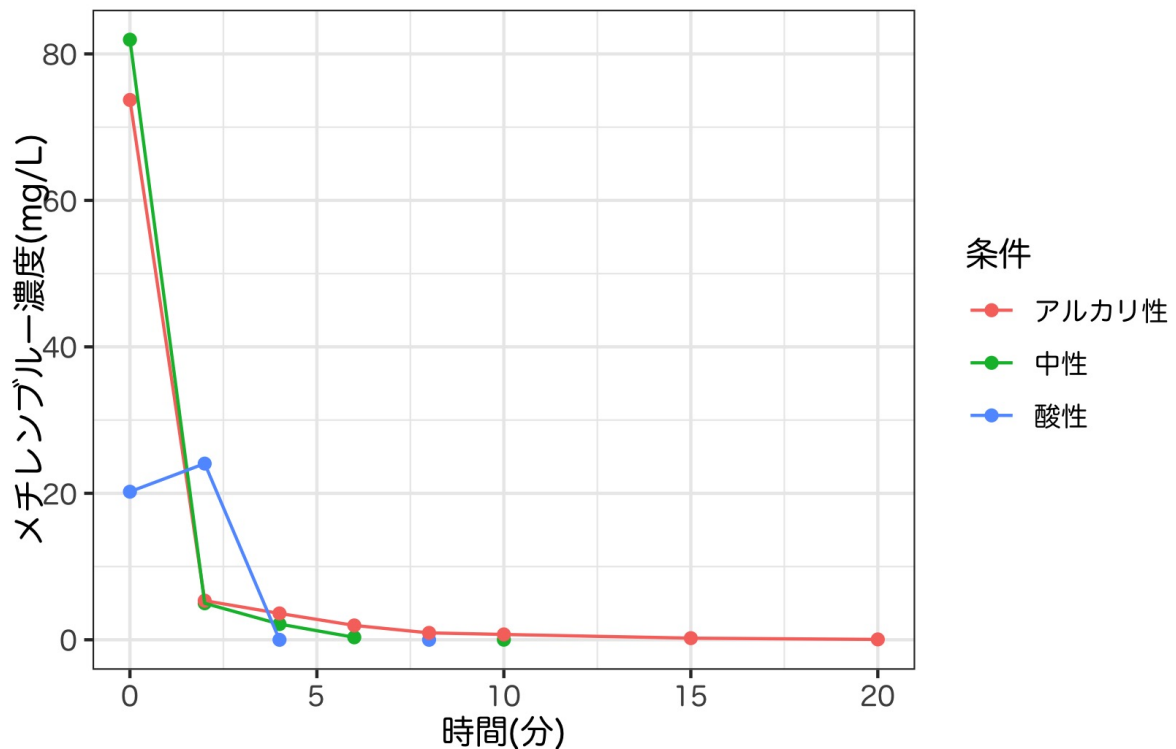


Figure2: メチレンブルー濃度の経時変化

課題 B 急速濾過における目詰まり状況と処理性能の解析

実験概要

実験原理

急速濾過法はヨーロッパに比べて水需要が多い上、原水濁度が高いアメリカで発達したプロセスである。急速濾過池においては、硫酸アルミニウムなどを凝集剤としてフロックを形成させ、沈澱池で沈殿させた後、除去しきれなかった微細なフロックが、砂などの粒状濾材を用いて物理化学的に除去される。

本演習では、濾材に原水を通水して濁質を除去する「濾過」と、逆洗浄によって濁質を洗い流す「逆洗」という急速濾過法の2つのプロセスについてモデル実験を行う。原水としてカオリン懸濁液と三四郎池の水、濾材には砂・アンスラサイトを用い、濾過工程におけるろ過抵抗の測定を行う。ろ過抵抗は、濾過筒に接続されたマノメータにより深さごとの損失水頭を求めることで算出する。逆洗工程においては、濾材の下方から水道水を流し、様子を観察するとともに、逆洗水を一定時間ごとに採取してSS濃度を測定する。また、濾材について、ふるい分けによる粒径決定、仮比重・真比重の測定を行う。

実験手順

実験手順の詳細を以下に示す。

■実験機器について

- 濾過筒の濾材構成
 - － A: 指定砂 60cm
 - － B: 指定砂 60cm
 - － C: アンスラサイト 30cm(上部) ⇨ 指定砂 30cm(下部)
- 凝集剤：硫酸アルミニウム

■準備・凝集沈殿操作

1. 濾材の洗浄
水道水を用いて逆洗浄を行う。
2. マノメータの点検
逆洗後、濾過筒に水を満たした状態でマノメータのバルブをすべて開く。水が流れていない状態では損失水頭は 0 なので、マノメータの高さは水平に揃うはずである。揃っていない場合は気泡が配管に残っている (=気泡による圧力水頭がマノメータの読みに影響を与えている) 可能性があるため、マノメータ上部からゴム球で空気を送り込み、気泡を排除する。
その後、濾過筒下部の濾水流出バルブを開き、マノメータの水位が安定した後、マノメータの水位を記録する。この水位は「流出水位」に対応する。
3. 原水の作成・凝集沈殿操作
三四郎池の水を採取する。また、濃度が 75mg/L になるように水道水にカオリンを添加し、カオリン原水とする。前者には、実験 A で求めた最適凝集条件の通りに、後者には 100mg/L 凝集剤を投入し、2 分程度、早めの回転数で急速攪拌する。その後、攪拌機のを速度を弱め、緩速攪拌する。
4. ポンプの流量調節
それぞれの濾過系統において用いるポンプの流量を、メスシリンダーを用いて流量を実測しながら、約 650mL/min になるように調節する。調節後のポンプの流量を記録する。

■急速濾過・逆洗浄実験

1. 清水濾過実験
3 系統それぞれの濾過筒について、水道水を通水し、単位ろ層厚さあたりの損失水頭を求める。
2. 急速濾過実験
まず、原水の濁度・温度を測定する。ポンプを稼働させて原水を通水し、15 分間隔でマノメータの水位を記録する。また、30 分間隔で原水・濾過水を採取し、濁度を測定する。マノメータの読みに注意し、目詰まりが起こるまで計測を継続する。

Table3: マノメータ水位の変化

	1	2	3	4	5	6	7	8
A 筒								
time_15	41.7	42.9	44.2	45.6	47.4	49.8	51.6	51.6
time_30	41.9	43.0	44.3	45.8	47.7	50.4	53.4	53.8
time_45	41.4	42.7	43.9	45.5	47.4	50.3	56.8	56.9
time_60	41.0	42.1	43.3	44.7	46.7	49.7	55.3	55.6
time_75	39.9	40.9	42.0	43.3	45.0	48.0	84.7	84.7
time_90	38.5	39.4	40.3	41.5	43.1	45.7	119.0	119.0
time_95	37.5	38.2	39.0	39.9	41.2	43.7	128.0	128.0
tapwtr	42.4	43.7	45.1	46.5	48.3	50.4	51.5	51.6
B 筒								
time_30	41.8	43.2	44.8	46.7	48.9	52.3	57.7	57.6
time_45	41.8	43.2	44.8	46.6	49.1	52.6	60.0	59.9
time_60	41.7	43.1	44.7	46.5	49.1	53.1	62.5	62.4
time_75	41.6	43.0	44.6	46.5	49.0	53.5	64.8	64.8
time_90	41.4	42.9	44.4	46.1	49.0	54.1	67.6	67.6
time_105	41.5	42.8	44.5	46.4	48.9	54.8	70.0	70.0
time_120	41.3	42.7	44.5	46.2	48.8	55.7	73.1	73.1
tapwtr	41.6	43.2	44.7	46.4	48.5	50.9	53.0	53.0
C 筒								
time_15	43.8	45.3	47.5	49.9	50.4	51.2	51.7	51.5
time_30	43.8	45.4	47.9	50.7	51.3	52.0	52.7	52.7
time_45	43.6	45.4	48.0	51.4	52.0	52.9	53.4	53.4
time_60	43.6	45.4	48.3	52.1	52.8	53.7	54.4	54.4
time_75	43.5	45.4	48.5	52.8	53.5	54.5	55.3	55.3
time_90	43.4	45.3	48.6	53.4	54.3	55.4	56.2	56.2
time_105	43.4	45.4	48.8	54.2	55.0	56.3	57.2	57.2
time_120	43.7	45.2	48.9	55.0	55.9	57.2	58.2	58.2
tapwtr	43.9	45.3	47.3	49.2	49.6	50.1	50.6	50.6

3. 逆洗浄実験 (C 筒のみ)

排水バルブ・マノメータバルブを閉じ、水道水により 500L/h の流量で逆洗浄を用いる。また、逆洗浄開始時を $t=0$ とし、適当な時間間隔ごとに逆洗排水を採取し、SS を測定する。逆洗終了時には、逆洗用バルブよりも、水道栓を先に閉めるように注意する。

結果

急速濾過

マノメータ水位の変化を Table 3 に示す。

Table4: 逆洗排水の SS 濃度の経時変化

time	bef_g	aft_g	amt_ml	SS
1	0.4036	0.4116	100	80
2	0.4000	0.4064	100	64
3	0.4134	0.4208	100	74
4	0.3999	0.5724	100	1,725
5	0.4012	0.4637	100	625
6	0.4069	0.4402	100	333
7	0.4069	0.4199	100	130

上記の実測値より、損失水頭を求めた結果を Table ?? に示す。

Table ?? の値について、横軸に単位濾層あたりの損失水頭、縦軸に濾層深さをとってプロットした結果を?@fig-manometer に示す。

次に、濁度の測定結果を Table ?? に示す。また、濁度の除去率の経時変化を求め、?@fig-filt-turb に図示した。

逆洗浄

逆洗時に採水を行い、SS を測定した結果を Table 4 に示す。

ろ過筒の仕様測定

ふるい分けの結果を Table ?? に示す。また、粒度加積曲線を?@fig-sieve に示す。

考察

課題 C 活性炭による色度成分の吸着

実験概要

活性炭による色度成分吸着実験

活性炭とは、木質（ヤシ殻、おが屑や石炭など）を原料として、これらの原料を炭化および賦活処理によりつくられた多孔性の炭素質の物質で

その大きな内部表面積や微小細孔により、水中の有機物等を吸着することができる。浄水処理においては、異臭味物質・農薬・微量有害物質・合成洗剤・色度成分・トリハロメタン前駆物質などの除去の目的で活性炭処理が行われている。

本実験演習では、色度成分としてメチレンブルーを溶解した溶液に活性炭を加えて回分実験を行う。一定時間毎に採水し、色度成分の濃度を測定することで、吸着速度について調べる。また、吸着が平衡に達した際の濃度データをプロットすることで、吸着等温線に関する理解を深める。

Table5: 各希釈列ごとの吸光度

メチレンブルー濃度 (mg/L)	665nm 吸光度		
	3 班_1	3 班_2	4 班_1
0.0	-0.005	-	-
0.2	0.036	0.050	0.041
0.5	0.102	0.112	0.115
1.0	0.207	0.214	0.208
2.0	0.435	0.446	0.438
5.0	1.051	1.043	1.055
10.0	1.958	1.958	1.934
20.0	3.256	3.350	3.331

Table6: 検量線の回帰式と R² 値

検量線	回帰式と R ² 値
3 班-1 日目	$y = 0.166x + 0.0758, R^2 = 0.9888$
3 班-2 日目	$y = 0.169x + 0.093, R^2 = 0.9923$
4 班-1 日目	$y = 0.168x + 0.091, R^2 = 0.9922$

Belsorp による細孔分布解析

Belsorp の原理

本レポートでは BELSORP により出力される「生の吸着等温線データ」についても解析を試みる。データ取得に際しては今野さんにご協力頂いた。

結果

検量線の作成

まず、メチレンブルー濃度の推定用の検量線を作成した結果を示す。

複数の希釈列を作成し、665nm 吸光度を測定し、全データで検量線を作成した結果を Table 5 ならびに Figure 3 に示す。なお、私達 3 班は 2 日目の測定時に新しく検量線を作成していたが、4 班は作成していなかったとのことなので、3 種類の検量線データを記載した。また、この場合の各検量線の回帰式と R² 値を Table 6 に示した。

?@tbl-abs-models に示した通り、R² 値はどれも約 0.99 となっているものの、これはメチレンブルー濃度が 20mg/L の希釈列に引っ張られた結果であると考えられる。そのため、20mg/L の希釈列を除いて再度検量線を作成した結果を Figure 4、Table 7 に示す。Figure 3 の検量線よりも正確に線形回帰できているため、この検量線を用いて濃度計算を行う。

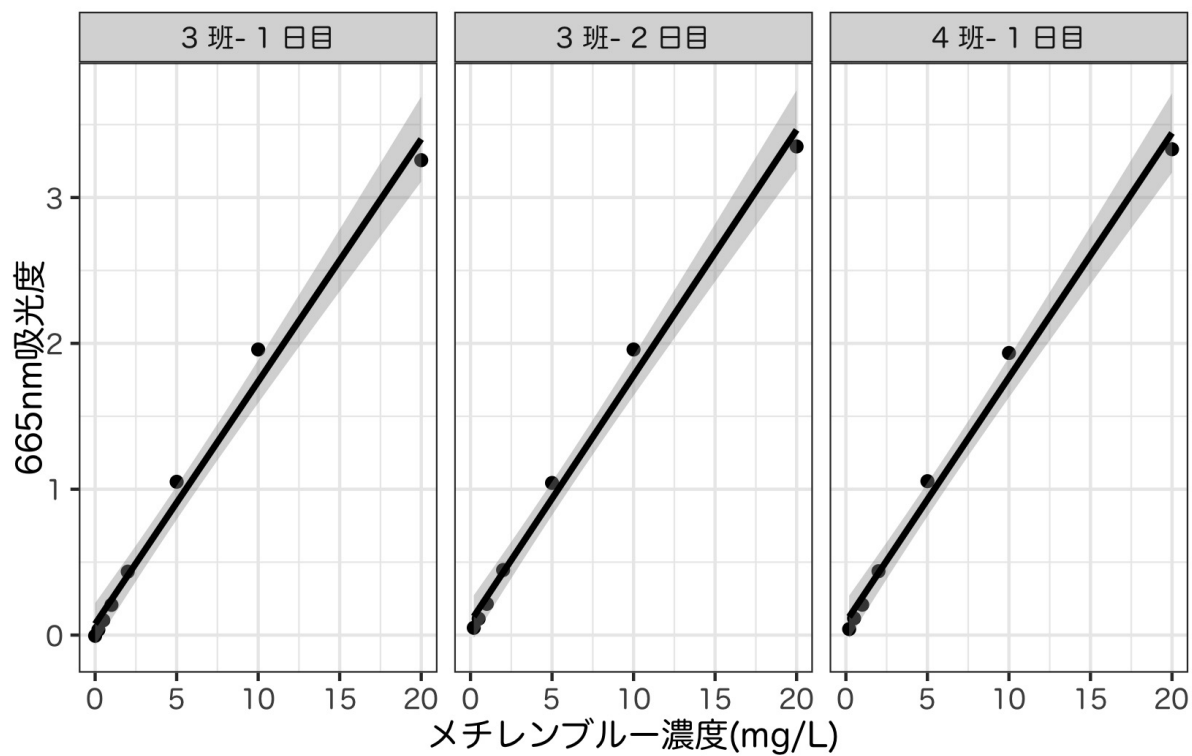


Figure3: メチレンブルー濃度の検量線

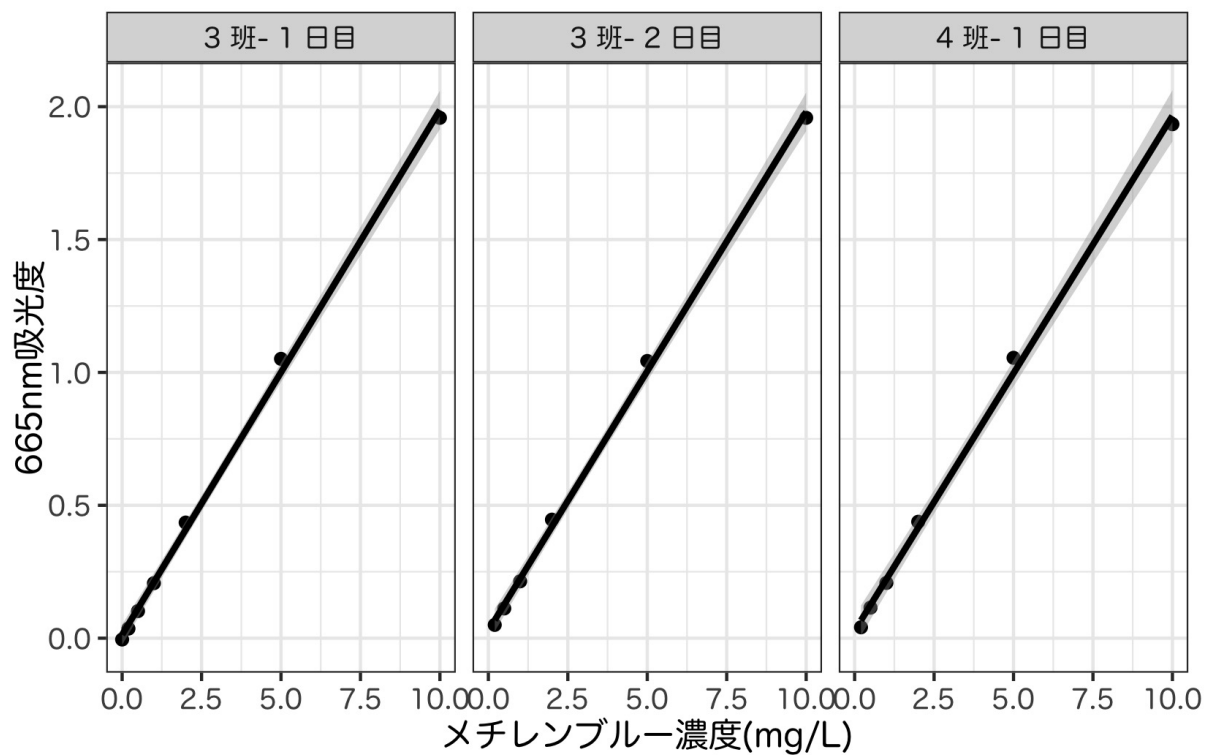


Figure4: メチレンブルー濃度の検量線 (改良版)

Table7: 検量線の回帰式と R² 値 (改良版)

検量線	回帰式と R ² 値
3 班-1 日目	$y = 0.197x + 0.0131, R^2 = 0.9984$
3 班-2 日目	$y = 0.195x + 0.029, R^2 = 0.9988$
4 班-1 日目	$y = 0.194x + 0.0281, R^2 = 0.9978$

メチレンブルー吸着実験

吸光度の経時変化を

作成した検量線を用いて濃度を計算した結果を Table 8 に示す。なお、4 班のデータについては、十分に希釈を行っておらず、検量線が外挿となってしまった場合がある。その場合は数値の横に*をつけて区別した。また、濃度変化を?@fig-abs に図示した。

Belsorp による細孔分布解析

まず、それぞれの活性炭の等温吸着曲線は Figure 5 のようになった。

```
Warning: There was 1 warning in `mutate()`.
i In argument: `t_nm = de_Boer(Pe, P0)`.
Caused by warning in `log()`:
! NaNs produced
```

GW 活性炭 (浄水処理用) は、

一方で、GLC 活性炭には、相対圧が 1 付近でも吸着量の立ち上がりが見られ、大きめの細孔も吸着作用に寄与していることが示唆される結果となった。

次に、Figure 6 に各活性炭の t-plot を示す。t-plot とは...

t の算出には Equation 2 を用いた。

※ここに出典を入れないと駄目。

$$t = 354 \left(\frac{-5}{\ln(P_e/P_0)} \right)^{1/3} \quad (2)$$

また、以下のような BET プロットを描画することで、表面積を概算することができる。

BET プロットは Equation 3 で表され、直線

※ここにサイトなどで良いので出典を入れる。

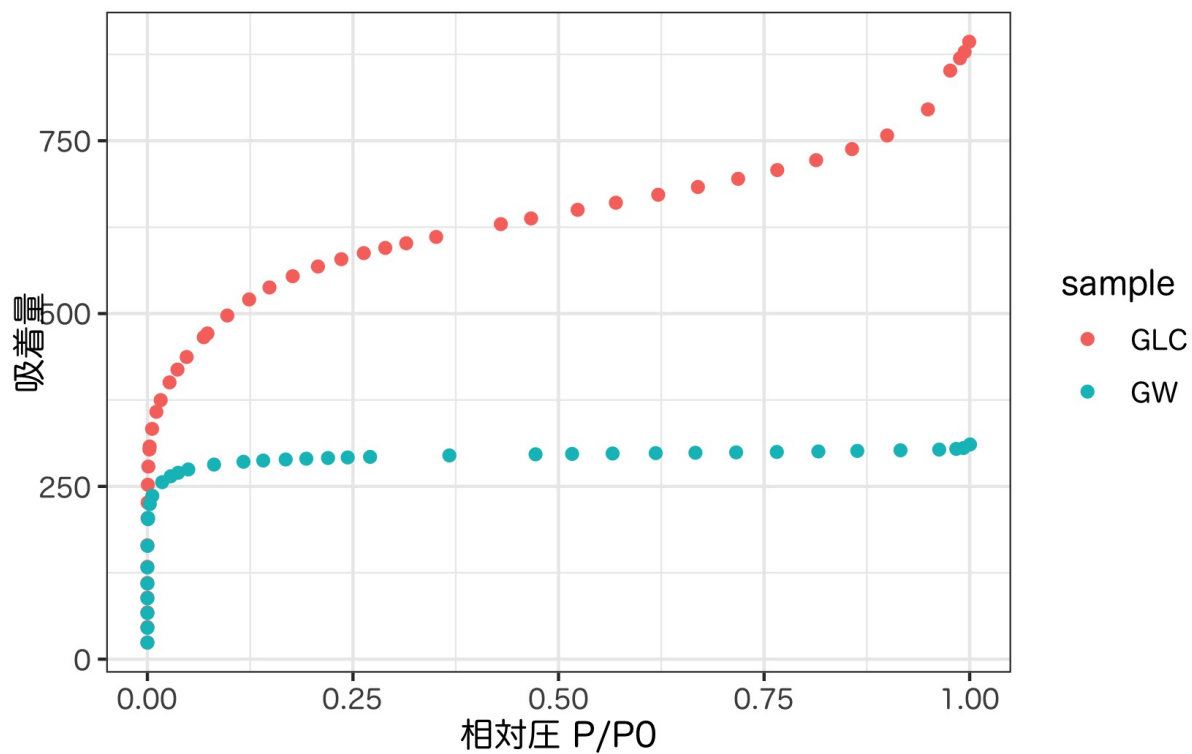


Figure5: 2種の活性炭の吸着等温線

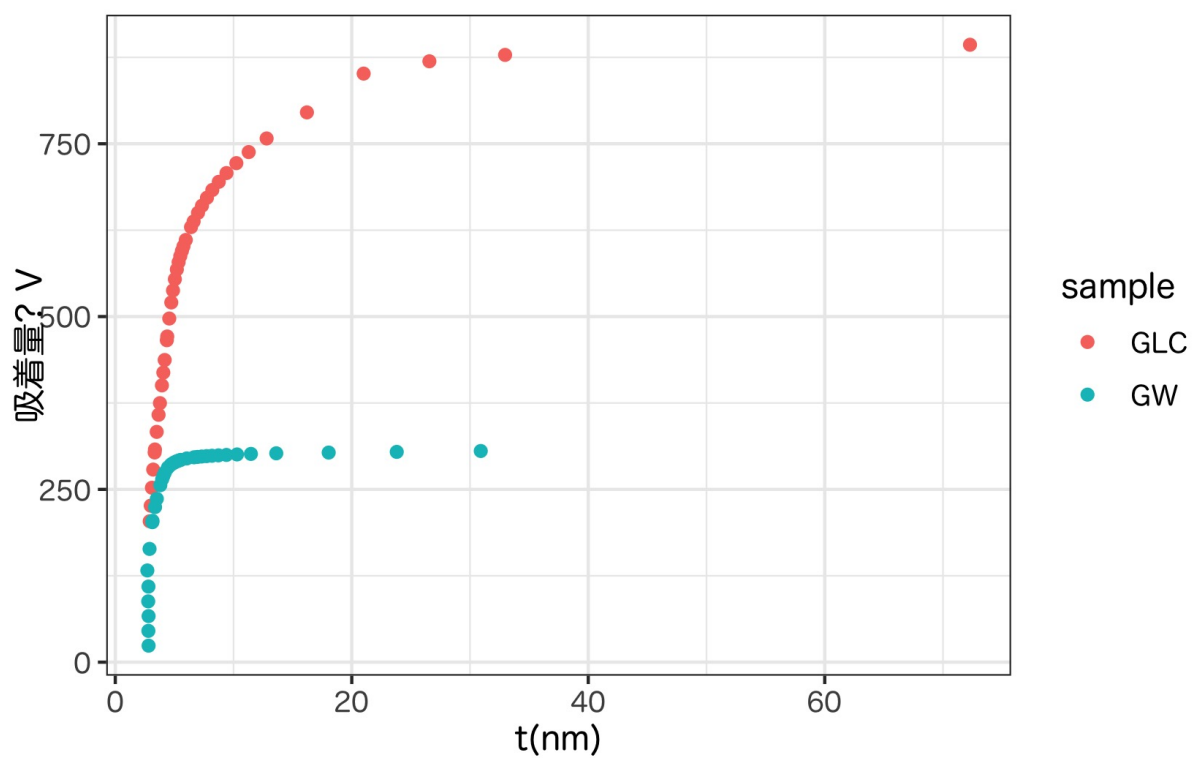


Figure6: 2種の活性炭のt-プロット

Table8: メチレンブルー濃度 (mg/L) の経時変化

活性炭添加量 (g)	メチレンブルー濃度 (mg/L)								
	0min	5min	10min	20min	30min	60min	90min	120min	24hrs
GW - 400									
0.0000	427	-	-	-	-	-	-	463	470
0.5003	448	408	419	424	412	399	398	384	295
1.0000	420	399	388	376	377	332	309	276	67
1.5015	430	410	370	348	355	314	291	259	40
2.0070	438	387	366	334	331	282	250	225	8
GW - 200									
0.0000	225	-	-	-	-	-	-	235	233
0.2500	221	211	223	217	212	210	208	203	133
0.4998	228	207	219	206	203	196	190	183	76
1.0000	229	208	205	187	180	155	141	131	11
1.5002	218	183	185	164	148	117	91	72	検出限界
GLW - 200									
0.0000	189	-	-	-	-	-	-	170*	156*
0.0500	214	196	206	224	189	172	151	133*	127*
0.1000	225	217	211	197	173	135	112	92	78
0.2000	224	203	187	146	110	50	30	検出限界	0
0.3000	223	195	165	142	83	17	2	検出限界	検出限界
GLW - 400									
0.0000	424	-	-	-	-	-	-	420	435
0.1000	430	441	407	407	389	353	347	317	323
0.2000	418	428	410	368	345	265	216	191	134
0.3000	388	408	397	344	324	253	163	112	28
0.4000	433	397	342	269	203	90	37	20	0

$$BET = P_0 \quad (3)$$

BET プロットが直線形になる範囲において、近似直線を最小二乗法で求めた。近似結果を Figure 8 と Table ?? に示す。

Figure 8 に示した BET プロットから、表面積の合計は ?? と求められた。

最後に、

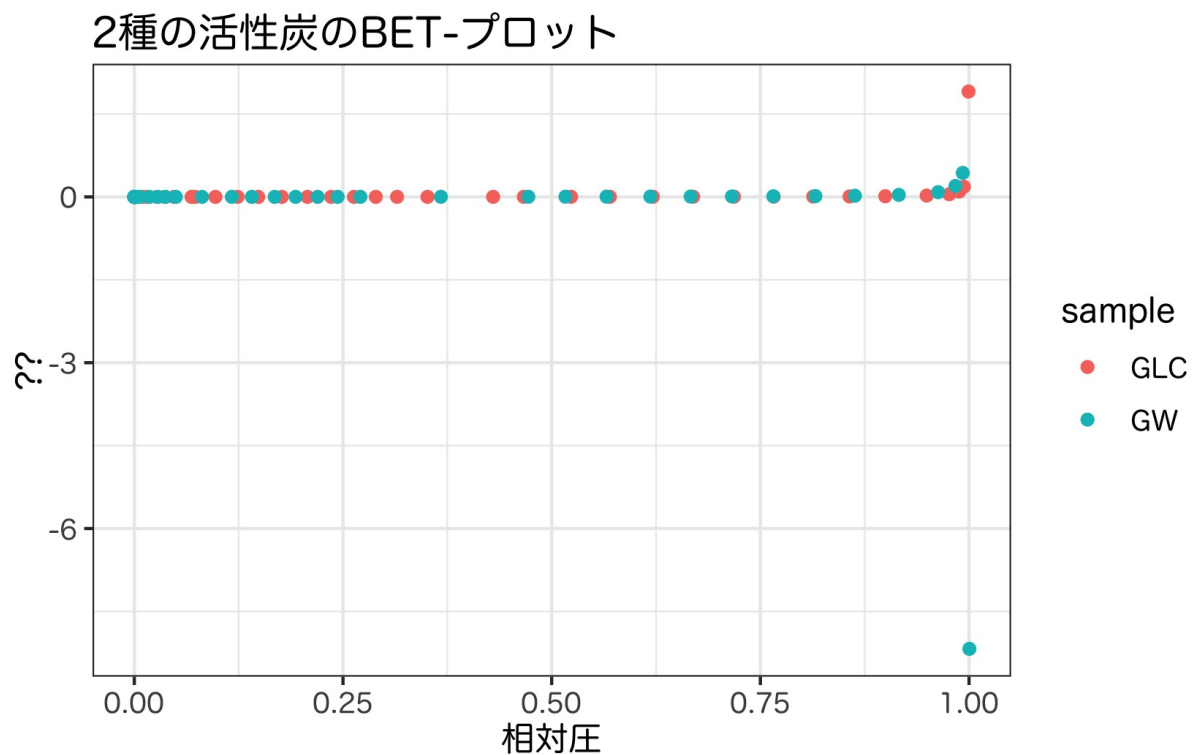


Figure7

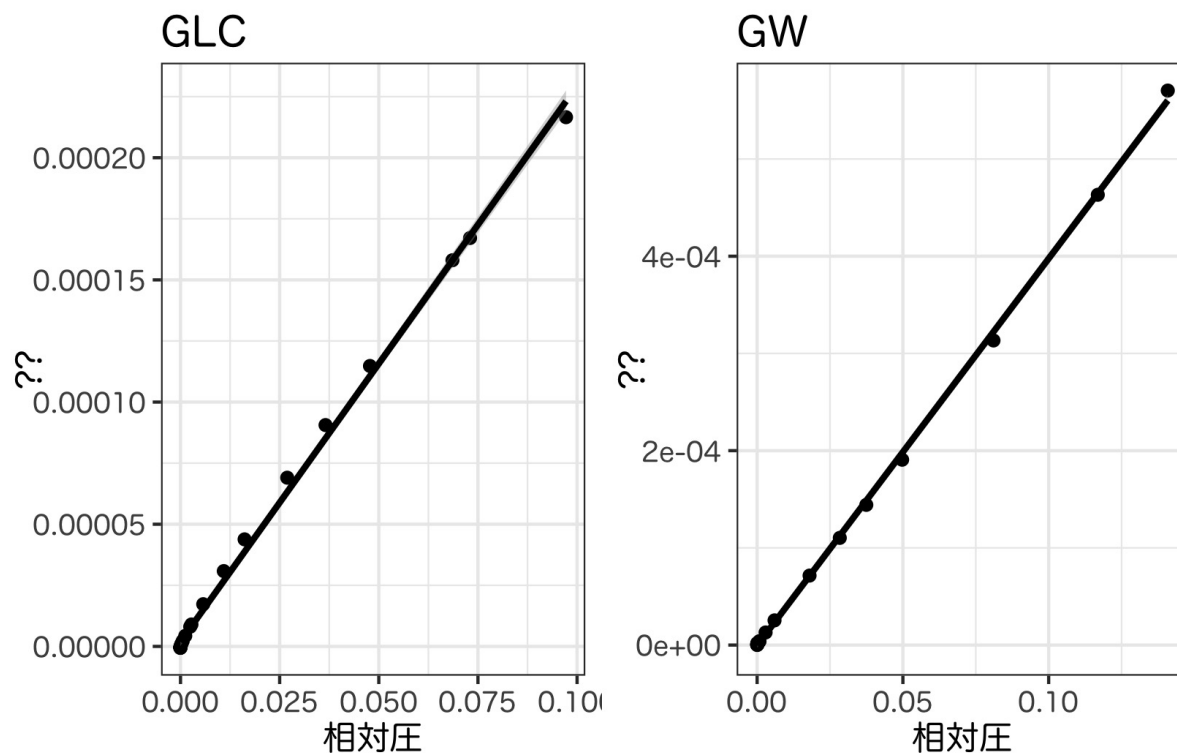


Figure8: BET 法の近似直線導出

考察

課題 D 凝集沈殿における最適条件の決定

実験概要

概要をここに書く。

結果

まず、二種類の水試料について、凝集剤の濃度を变化させて凝集剤の最適添加量を求めた。実験結果を Table 9 に示す。

なお、m-アルカリ度の測定にあたっては、滴定に用いる 0.01mol/L 硫酸を...

標定を行った結果、ファクターは (※ここに数値埋め込み) となった。

Table9: 凝集剤添加量の決定

凝集剤濃度	濁度	pH. 後.	水温	m アルカリ度	滴定の生データ		
					滴定_前	滴定_後	滴定試料量
三四郎							
0	6.508	7.12	11.6	44.7	19.69	15.68	100
10	6.512	7.18	11.6	86.1	15.68	11.82	50
20	4.281	7.16	11.6	81.0	11.82	8.19	50
50	1.037	7.10	11.6	70.1	8.19	5.05	50
75	1.175	6.40	11.6	58.9	5.05	2.41	50
100	2.362	6.44	11.6	48.9	2.41	0.22	50
カオリン							
0	3.574	6.99	20.7	39.9	6.90	5.11	50
10	3.630	7.17	20.7	36.2	5.11	3.49	50
20	2.134	7.00	20.7	33.0	3.49	2.01	50
50	3.982	6.87	20.7	24.3	2.01	0.92	50
75	5.790	6.48	20.7	10.5	0.92	0.45	50
100	6.949	5.90	20.7	2.9	0.45	0.32	50

濁度の除去性能を比較した結果、最適な凝集剤濃度は三四郎池の場合は??、カオリン原水の場合は??であるということがわかった。

次に、上記で求めた最適量だけ凝集剤を添加した条件の下で、pH を酸性~アルカリ性の数段階で変化させ、前後の pH 変化ならびに、処理後の濁度・ゼータ電位・水温・m-アルカリ度を計測した結果を Table 10 に示す。

なお、pH がおよそ 5 よりも小さい条件においては m-アルカリ度の測定は行っていない。

Table10: 各 pH 条件下での反応の比較

								滴定の生	
理論 pH	pH 前	pH 後	濁度	ゼータ電位	水温	凝集剤添加量	m アルカリ度	滴定_前	滴定_後
三四郎									
pH3	3.33	3.41	5.414	-9.081	NA	NA	NA	NA	NA
pH5	5.57	4.96	1.649	-9.213	NA	NA	NA	NA	NA
pH7	7.66	7.29	0.662	-9.921	NA	NA	69.0	3.51	0.42
pH9	8.88	7.62	4.241	-10.440	NA	NA	79.7	7.08	3.51
pH11	10.47	9.89	1.448	-13.930	NA	NA	135.5	13.15	7.08
カオリン									
pH3	3.88	3.48	3.679	-12.770	19.3	NA	NA	NA	NA
pH5	4.57	4.55	3.796	-18.820	19.3	NA	NA	NA	NA
pH7	7.10	7.23	3.241	-10.390	19.3	NA	32.6	14.61	13.15
pH9	8.55	7.73	2.088	-17.640	19.3	NA	37.5	16.29	14.61
pH11	10.67	10.48	3.830	-15.340	19.3	NA	114.5	21.42	16.29

考察

理論上、アルカリ度の減少は以下のようになる。

課題 E 消毒

実験概要

2 種類の消毒方法に関して実験を行う。

結果

各条件下でのコロニー数の計数結果を Table 11 に示す。

Table11: 大腸菌コロニー数の計数結果

採水時刻	コロニー数
塩素 - 水道水	
t0	$>300 / >300(\times 10^3)$, $100/91(\times 10^4)$, $7/3(\times 10^5)$
t1	$8/5(\times 10^2)$, $1/0(\times 10^3)$, $0/0(\times 10^4)$
t2	$158/148(\times 10^1)$, $16/9(\times 10^2)$, $2/0(\times 10^3)$

t3	178/173 ($\times 10^1$), 23/21 ($\times 10^2$), 3/1 ($\times 10^3$)
塩素 - 緩衝液 A	
t0	>300/>300 ($\times 10^3$), 87/83 ($\times 10^4$), 15/10 ($\times 10^5$)
t1	6/12 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$), 0/0 ($\times 10^4$)
t2	148/129 ($\times 10^1$), 25/17 ($\times 10^2$), 3/2 ($\times 10^3$)
t3	97/90 ($\times 10^1$), 12/8 ($\times 10^2$), 3/2 ($\times 10^3$)
塩素 - 緩衝液 B	
t0	>300/>300 ($\times 10^3$), 172/155 ($\times 10^4$), 25/18 ($\times 10^5$)
t1	>300/>300 ($\times 10^2$), >300/>300 ($\times 10^3$), 62/44 ($\times 10^4$)
t2	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), 432/364 ($\times 10^3$)
t3	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), 109/79 ($\times 10^3$)
紫外線 - BW	
t0	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), 278/185 ($\times 10^3$), 25/18 ($\times 10^4$)
t1	271/258 ($\times 10^1$), 35/30 ($\times 10^2$), 5/3 ($\times 10^3$)
t2	0/0 ($\times 10^1$), 1/0 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$)
t3	0/0 ($\times 10^1$), 0/0 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$)
紫外線 - phr	
t0	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), >300/>300 ($\times 10^3$), 57/46 ($\times 10^4$)
t1	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), 161/107 ($\times 10^3$)
t2	51/49 ($\times 10^1$), 7/3 ($\times 10^2$), 1/0 ($\times 10^3$)
t3	0/0 ($\times 10^1$), 0/0 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$)
紫外線 - uvr	
t0	>300/>300 ($\times 10^1$), >300/>300 ($\times 10^2$), 259/244 ($\times 10^3$), 30/28 ($\times 10^4$)
t1	>300/253 ($\times 10^1$), 31/26 ($\times 10^2$), 4/3 ($\times 10^3$)
t2	40/6 ($\times 10^1$), 0/0 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$)
t3	0/0 ($\times 10^1$), 0/0 ($\times 10^2$), 0/0 ($\times 10^3$)

考察

付録他班のデータ

考察において他班のデータを参照したため、全班の生データ比較が可能なよう、以下に全班のデータを示す。