

# 水処理施設の維持管理における低コスト処理技術の研究 (Ⅲ) スギ炭を入れたミニプラントによる低コスト水処理の試み

宇都宮高栄 松井利夫

Study on the low-cost maintenance management method in waste water treatment facilities (Ⅲ)  
Attempt of low-cost water processing with mini plant where cryptomeria(Japan cedar) charcoal was put

Takae UTSUNOMIYA Toshio MATSUI

## 1 はじめに

廃棄物埋立処分場の浸出水からビスフェノール A(BPA) が ppm オーダーで検出されることがあり、プラスチック分解物や塩化ビニルの安定剤の溶出などが原因と報告されている<sup>1)</sup>。福井県内でも廃棄物埋立処分場の処理原水から 5~13mg/ℓ を検出している事例がある<sup>2)</sup>。

これら浸出水の BPA 処理には高価な活性炭が使われることが多く、より低コストの水処理方法の開発が求められている。

筆者らは、平成 16 年度に、高温焼成した多孔質スギ炭による水質浄化を試みた<sup>3)</sup>。また、平成 17~18 年度には、スギ炭などを担体に用いた浸漬ろ床による生物処理法が、ビスフェノール A(BPA) を分解することを確認している<sup>4,5)</sup>。

本報では、このスギ炭を用いたミニプラントにより、BPA の分解処理を試みたので報告する。

## 2 実験方法

スギ炭の作製は前報<sup>5)</sup>同様におこなった。

また、前報の 2ℓ 水槽試験結果をもとに、以下のミニプラントを設計した。

### 2.1 ミニプラントの設計と製作

井出<sup>6)</sup>は、「散水ろ床での微生物での BOD の除去は活性汚泥法と同様に一次反応式に従う。」としており、筆者らもこの考え方を準用することにした。

井出によれば、減衰増殖期の 1 次反応式は Piston Flow 方式では、 $Q \cdot \ln(C/C_0) = -K' \cdot X \cdot V$  である。ここで、 $t = V/Q$  とすると、 $\ln(C/C_0) = -K' \cdot X \cdot t$  となる。

Q : 流入水量 (m<sup>3</sup>/h)

C : BPA 濃度 (mg/ℓ)

K : 分解定数

K' : 単位担体重あたり分解定数

X : 担体濃度=M/V (kg/ℓ)

M : MLSS 濃度を容積あたりの湿スギ炭量 (kg)

V : 混合部容積=曝気槽水量 (m<sup>3</sup>)

t : 滞留時間=原水流入から放流までの時間 (h)

BPA の最大無作用濃度 (NOEC) が 0.247~0.470 mg/ℓ と示されている<sup>7)</sup>ことから、浸出水の BPA 濃度レベルを 10 mg/ℓ 程度とし、24 時間かけて BPA 濃度を 0.2 mg/ℓ まで処理することを想定し、設計条件を決めた。

生物分解速度定数=K として、一次分解式は、

$C = C_0 \cdot \exp(-K \cdot t)$  となる。

これに条件を代入すると、

$\ln(C/C_0) = \ln(0.2/10) = -3.912$  となる。

一方、単位重あたりの生物分解速度定数を K'、処理に必要なスギ炭量 X (kg 湿重) とすれば、

$K \cdot t = K' \cdot X \cdot t$  である。

従って、前報<sup>5)</sup>の結果から、K' = 0.4 とすれば、2ℓ 原水に接触する担体としては湿重 408g のスギ炭 (50ℓ だと 10.2kg) が必要であった。

ミニプラントでの水処理は水槽実験の連続化とするため、浸漬ろ床方式とした。図 1 にはその概念図、写真 1 にはミニプラントを示した。

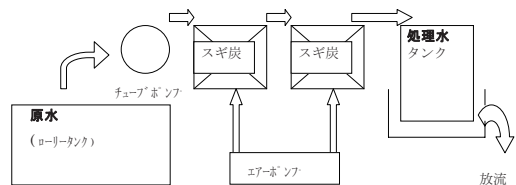


図 1 ミニプラント設計概念図

処理槽はプラスチック製コンテナを用い、最大内容積は 35.4ℓ (455×305×255H mm) である。

これを 2 槽並べ、各槽にはステンレス 200×200×200 (mm) のステンレス籠(足付)を 2 個ずつ入れ、4 つの籠にそれぞれ 2.5kg のスギ炭を装填した。なお、2 つの処理槽はシリコンゴムのサイホンで連結した。

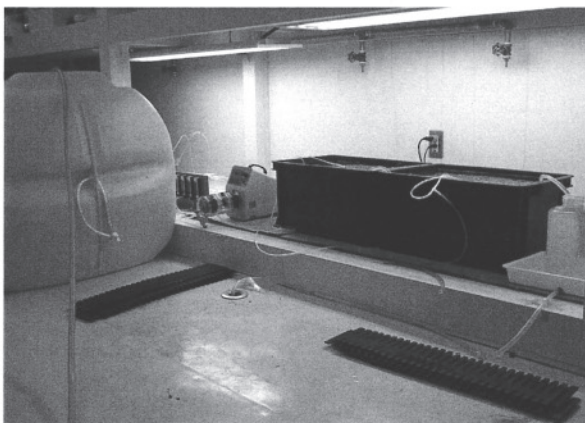


写真1 実験棟内のミニプラント  
左:ローリータンク 右:2つの処理槽

処理原水は 500ℓ ローリータンクからチューブポンプ（東京理化工機㈱RP-1000 型）で第1槽に供給し、Piston Flow 法により第2槽へ、次に放流槽へと流下させた。

なお、エアープンプにより、各槽当たり 0.3ℓ /min で筥の底部から曝気した。また、水槽の水深は 225mm とし、処理水タンク水位で調整した。

その結果、スギ炭筥等の排除体積を考慮すれば、1層あたりの水量は 25ℓ、2槽で 50ℓ となり、ここに合計 10kg のスギ炭を装填した。

## 2.2 BPA 生物分解試験

実験棟を常時 25℃に保持したうえで、以下の試験を実施した。

### 2.2.1 スギ炭の生物馴致

ミニプラントに水道水を満たしたのち、前報<sup>5)</sup>の水槽による生物分解試験水を加えた。これにカロリーメートを添加した後、各槽を 0.3mℓ /分で 13 日間、暗条件下で曝気した。その後、BPA を添加して、6 日間馴致した。

### 2.2.2 暗条件下での分解試験

ローリータンクに水道水 500ℓ と BPA を入れ模擬廃水とし、チューブポンプ回転数を 20rpm ( 55ℓ /day )としてミニプラントに通水した。BPA 濃度はローリータンク水量と添加 BPA 量で調整し、通水濃度は 1~10mg/ℓ である。

なお、実験途中で、通水負荷を停止し、曝気のみ期間をつくった。その後、再起動にあたっては、ローリータンクに水道水とカロリーメートのみを追加し、COD を 30mg/ℓ 程度とし、7 日後に BPA とカロリーメートを追加し通水負荷を再開した。以後、前期を A 期間 ( 9 月 26 日~10 月 11 日 )、後期を B 期間 ( 11 月 29 日~12 月 22 日 ) と表記する。

### 2.2.3 明条件下での分解試験

同様に、蛍光灯照射 (1440lux) による明条件にて BPA 生物分解試験を実施し、これを C 期間と表記する。

(C1 : 1 月 4 日~10 日、C2 : 1 月 16 日~29 日、C3 : 2 月 5

日~13 日、C4 : 2 月 20 日~26 日)

なお、より安定な稼動条件を探るため、処理水濃度を確認しながら、通水速度を 10rpm (28ℓ /day )と 20rpm ( 55 ℓ /day )の 2 段階で交互に比較した

### 2.2.4 追加試験

写真2のように、スギ炭 2.5kg とポンプ曝気を付けた簡易ろ床を 4 基(合計、水容積 50ℓ、スギ炭 10kg)、ミニプラントに直列に繋ぐことによる増設試験を追加・実施した。(この場合、水槽容積 100ℓ、スギ炭 20kg となる。)

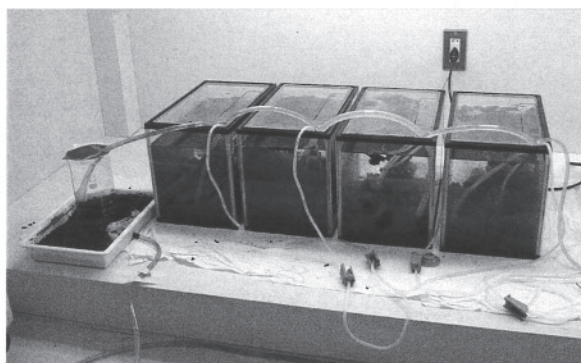


写真2 増設した簡易ろ床

## 2.3 BPA の分析

BPA は、HPLC 法 (Waters2695, FL, PDA, UV 検出器, カラム Atlantis dC18) で測定した。

検水は、随時、各ろ床水槽から注射器で採水し、直接または希釈して測定したが、BPA の検出下限は 0.003mg/ℓ であった。

# 3 実験結果

## 3.1 BPA 生物分解試験結果

BPA の生物分解試験結果を表1に示した。便宜上、流入水量をチューブポンプの回転数で代替させた。

また、ミニプラントでの処理状況について、原水濃度と浸漬ろ床処理水(またはこれに相当する簡易ろ床①)濃度を図2に示した。

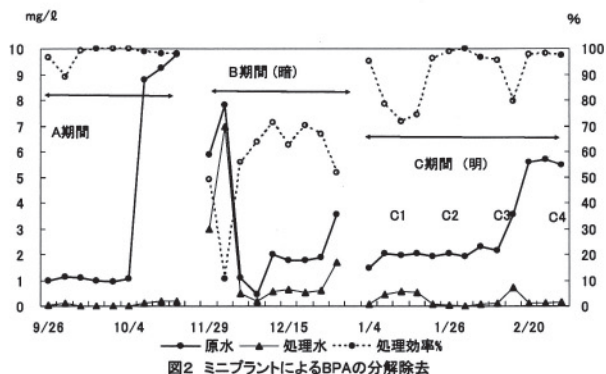


図2 ミニプラントによるBPAの分解除去

### 3.1.1 暗条件下の試験結果

#### (A 期間)

当初は 1mg/ℓ レベルで実施したところ、処理水濃度 0.02mg/ℓ 以下となった。その後原水 BPA 濃度を 10ppm レベルに上げて、処理水濃度は 0.2mg/ℓ 以下であり、BPA 除去率 98%以上の良好な結果となった。

この後 1 ヶ月間は曝気のみとし、通水負荷は停止した。

#### (B 期間)

A 期間の試験終了後、まずローリータンクに水道水とカロリーメートのみ追加し、一週間後、BPA とカロリーメートを追加・流入負荷を再開した。

再開 2 日後、白い糸状菌様の藻が発生し、COD は処理水 30 mg/ℓ (原水 70 mg/ℓ)、BPA は処理水 2.99 mg/ℓ (原水 5.88mg/ℓ) となり、BPA 除去率は 49%と下落した。

そこで、水道水のための供給で 1 週間運転したところ、処理効率は 64%に回復した。

その後、BPA 濃度を 2 mg/ℓ に上昇させると、1 週間は 70%前後の除去率を保ったが、すぐに BPA 濃度が 1.71 mg/ℓ となり除去率は低下した。

### 3.1.2 明条件下での試験結果(C 期間)

原水の BPA 濃度を 2 mg/ℓ とし、流入水量 20rpm として試験を続けた。

(C1 期間) 1 月 4 日から 5~7 日経過後、処理水は 0.5 mg/ℓ で安定したもの、除去率 70%台であった。

(C2 期間) 流入水量 10rpm に下げると、処理水は 0.2 mg/ℓ 以下で、除去率 100%と良好であった。

(C3 期間) 再び流入水量 20rpm に戻したところ、処理水の BPA 濃度は徐々に上昇し、0.2 mg/ℓ 以上となり、除去率は 80%以下となった。

(C4 期間) ふたたび流入水量 10rpm に戻したところ、原水の BPA 濃度を 6mg/ℓ 程度に上げて、処理水の BPA 濃度は徐々に 0.2 mg/ℓ 以下となり、除去率は 97%に回復した。

### 3.1.3 追加試験の結果

C2 期間以降の簡易ろ床増設により、BPA の処理効率は表 1 の②に示すとおり、98%以上であった。

## 4 考察

### 4.1 プラント設計の検討

#### 4.1.1 生物分解試験

暗条件下の流入水量 20rpm では、A 期間は良好な処理効率が得られていたが、その後の B 期間は処理効率が低下した。これは生物相が変化するためと考えた。

一方、明条件下では、BPA の処理効率が低下した後であるが、流入水量を 20rpm から 10rpm にすると良好な処理効率が得られた。しかし、流入水量を 20rpm に戻すと処理効

率が低下し、A 期間のような良好な状態には戻らなかったことから、スギ炭と模擬排水との通過接触速度が BPA 分解能力に影響したと推測された。

#### 4.1.2 BPA の分解速度定数

表 1 において、原水濃度は  $C_0$ 、処理後濃度は  $C$  としたが、ここで、曝気槽水量  $V$  は 48.8ℓ、流入水量  $Q$  は 20rpm (55 ℓ/day) または 10rpm (28ℓ/day)、所要時間  $t$  は 23.4 または 41.8hour である。また、湿スギ炭量  $M$  は 10kg、担体濃度  $X$  は 0.2049 kg/ℓ である。

試験結果から  $K'$  を求め図 3 に示した。

暗条件下の A 区間では、 $K'$  が 0.46~1.22 であったが、B 区間では 0.02~0.26 に低下した。

明条件下の C 区間では、 $K'$  が 0.26~0.75 となったが、20rpm の期間は徐々に処理効率が低下し、10rpm の期間では、 $K'$  が 0.38~0.75 であり、処理効率は安定していた。安定的処理効率を得るためには、設計値の 2 分の 1 程度の流入水量が適当と考えられる。

しかし、簡易ろ床増設後の追加試験の結果について、表 1 の除去率②は 98%以上であり、流入水量を設計値 (20rpm) のままで処理層を 2 倍 (スギ炭も 2 倍量) にすることも一案と考える。

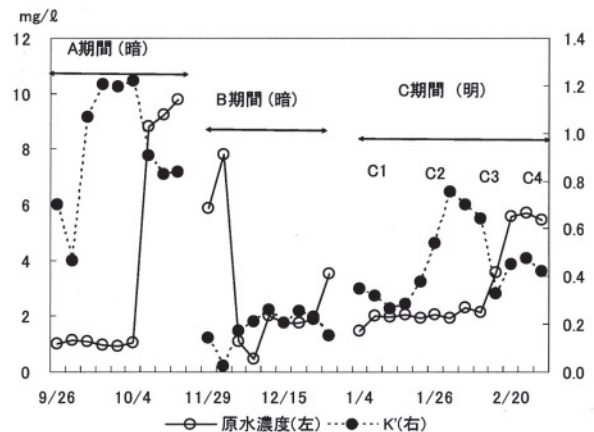


図3 原水濃度と単位担体重あたり分解定数

#### 4.1.3 スギ炭の BPA 処理能力

A 期間では、BPA 濃度約 9.3mg/ℓ の模擬廃水 55ℓ/日なので、BPA510mg/日を湿スギ炭 10kg で処理できた。同様に、C4 期間では BPA 濃度約 5.6mg/ℓ の模擬廃水 28ℓ/日なので、BPA156mg/日を湿スギ炭 10kg で処理できた。また、C3 期間 (2 月 13 日) では BPA 濃度 3.55mg/ℓ の模擬廃水 55 ℓ/日なので、BPA195mg を湿スギ炭 20kg で処理できた。(B 期間は生物相が変化するため考慮しない。)

以上のなか最小のスギ炭能力は、C3 期間の例であり、これを当てはめると、BPA500g を処理するには 51.3 トンの湿スギ炭が必要となった。

### 4.2 廃棄物埋立処分場に適用するには

活性炭とスギ炭のコスト比較を以下のように行った。

#### 4.2.1 活性炭吸着法

BPA濃度を10mg/l、廃水量を50トン/日と仮定すると、含まれるBPAは500gである。活性炭は前報<sup>4)</sup>のように、その湿重量の1%を吸着することができるとして、1日あたり、50kg湿重の活性炭が必要となる。この実験で使用した湿活性炭は、水分50.2%なので、1日当たり乾燥重量で24.9kgの活性炭が必要となる。

ここで、破碎炭が15kgで7500円とすると、コストは12,450円/日、1年で454万円となった。

#### 4.2.2 スギ炭による生物分解法

上の場合と同様に廃水中のBPA500gを処理するには、今回の浸漬ろ床方式では、最小のスギ炭能力で計算すると、BPA500gを処理するには51.3トンの湿スギ炭が必要となった。使用した湿スギ炭の水分は73.0%なので、13.9トンの乾燥スギ炭が必要となる。

ここで、スギ炭が1kg200円として、277万円必要であり、スギ炭を1年間継続しようすると活性炭よりは安価である。

#### 4.2.3 スギ炭を用いるBPA処理法の展望

コスト比較では、活性炭に比べ、スギ炭の方が安価である。またスギ間伐材の有効利用の観点からも、今後、実用化に向けた研究をより一層進めていく必要があると考え、今後の進展方向を示す。

##### ①スギ炭の品質管理

今回の実験では、スギ炭を炉内容積の小さな小型電気炉にて焼成したため、温度コントロールが容易であったが、実用規模のスギ炭焼成では厳密な温度管理により、スギ炭の品質保持に努める必要がある。

##### ②BPA分解微生物の検討

今回は、微生物試験を加味した明・暗条件の比較検討ができなかったが、今後のプラントの設計や維持管理の条件と連動するため、是非必要なことである。

##### ③排水処理プラントの規模

今回の実験結果から推定すると、1日50トンの廃水を処理するには、5m×10m×2m規模の水槽を持つ処理施設が必要である。

##### ④実証試験

フィールドでの実証試験を実施し、スギ炭を竈内に固定する技術やスギ炭の交換頻度の算出が必要である。

②コスト比較では、活性炭に比べ、スギ炭の方が安価であり、実用化への課題は多いものの、スギ間伐材の有効利用の観点からも、今後の研究が必要である。

③実用化のためには、スギ炭の管理焼成技術、BPA分解微生物の検討、スギ炭の耐用年数の確認など多くの課題が残っている。

## 参考文献

- 1) 国立環境研究所 1994～97  
[http://www.nies.go.jp/seika/gaiyou/a23\\_98/2-6-2.html](http://www.nies.go.jp/seika/gaiyou/a23_98/2-6-2.html)
- 2) 敦賀市民間最終処分場水質モニタリング調査結果  
<http://info.pref.fukui.jp/haitai/monitoring/monitoring%20top.htm>
- 3) 宇都宮高栄 他：福井県衛生環境研究センター年報, 3, 160～165, (2004)
- 4) 宇都宮高栄 他：福井県衛生環境研究センター年報, 4, 76～78, (2005)
- 5) 宇都宮高栄 他：本報, p91
- 6) 「水処理工学」井出哲夫：水処理工学, p306, 1978, 技報堂出版
- 7) 「魚類を用いた生態系への内分泌攪乱作用に関する試験結果について（案）2004年」, 環境省

## 5 結論

廃棄物処分場埋立地浸出水のBPA処理を念頭に、スギ炭を用いたミニプラントを用いて検討した結果、以下の知見を得た。

①高温で焼成したスギ炭を生物担体とすることによりBPAを分解処理できる。

表1 ミニプラントによるBPA分解実験経過、測定値および分解速度定数

| 光条件  | 期間   | 測定日   | 流入水量<br>rpm<br>* | 経過<br>日数 | 原水濃度<br>mg/ℓ | (ミニプラント)<br>浸漬ろ床 |           |             |           | (増設) 簡易ろ床 |           |           |             |     | 除去率 % |       | Ln(C/C <sub>0</sub> ) | t<br>(=V/Q)<br>hour | K<br>(=K'・X)<br>(X=0.2049) | K'<br>(X=0.2049) |
|------|------|-------|------------------|----------|--------------|------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----|-------|-------|-----------------------|---------------------|----------------------------|------------------|
|      |      |       |                  |          |              | ①<br>mg/ℓ        | ②<br>mg/ℓ | 処理水<br>mg/ℓ | ①<br>mg/ℓ | ②<br>mg/ℓ | ③<br>mg/ℓ | ④<br>mg/ℓ | 処理水<br>mg/ℓ |     |       |       |                       |                     |                            |                  |
|      |      |       |                  |          |              | C <sub>0</sub>   |           | C           | C         |           |           |           |             |     | ①     | ②     |                       |                     |                            |                  |
| 暗    | A    |       |                  |          | a            | b                | c         | d           | e         | f         | g         | h         |             |     |       |       |                       |                     |                            |                  |
|      |      | 9/26  | 20               | 0        | 0.99         | 0.30             | 0.05      | 0.03        | -         | -         | -         | -         | -           | 97  | -     | -3.36 | 23.42                 | 0.143               | 0.70                       |                  |
|      |      | 9/27  | 20               | 1        | 1.13         | 0.44             | 0.13      | 0.12        | -         | -         | -         | -         | -           | 89  | -     | -2.23 | 23.42                 | 0.095               | 0.46                       |                  |
|      |      | 9/28  | 20               | 2        | 1.08         | 0.00             | 0.01      | 0.01        | -         | -         | -         | -         | -           | 99  | -     | -5.12 | 23.42                 | 0.219               | 1.07                       |                  |
|      |      | 10/2  | 20               | 6        | 0.98         | 0.10             | 0.00      | 0.00        | -         | -         | -         | -         | -           | 100 | -     | -5.79 | 23.42                 | 0.247               | 1.21                       |                  |
|      |      | 10/3  | 20               | 7        | 0.93         | 0.11             | 0.00      | 0.00        | -         | -         | -         | -         | -           | 100 | -     | -5.74 | 23.42                 | 0.245               | 1.20                       |                  |
|      |      | 10/4  | 20               | 8        | 1.04         | 0.09             | 0.00      | 0.00        | -         | -         | -         | -         | -           | 100 | -     | -5.85 | 23.42                 | 0.250               | 1.22                       |                  |
|      | B    | 10/5  | 20               | 1        | 8.81         | 1.36             | 0.13      | 0.11        | -         | -         | -         | -         | -           | 99  | -     | -4.36 | 23.42                 | 0.186               | 0.91                       |                  |
|      |      | 10/10 | 20               | 6        | 9.23         | 2.49             | 0.25      | 0.17        | -         | -         | -         | -         | -           | 98  | -     | -3.98 | 23.42                 | 0.170               | 0.83                       |                  |
|      |      | 10/11 | 20               | 7        | 9.78         | 2.90             | 0.22      | 0.17        | -         | -         | -         | -         | -           | 98  | -     | -4.03 | 23.42                 | 0.172               | 0.84                       |                  |
|      |      | 11/29 | 20               | 2        | 5.88         | 5.03             | 3.18      | 2.99        | -         | -         | -         | -         | -           | 49  | -     | -0.68 | 23.42                 | 0.029               | 0.14                       |                  |
|      |      | 12/6  | 20               | 7        | 7.82         | 7.07             | 7.09      | 7.00        | -         | -         | -         | -         | -           | 10  | -     | -0.11 | 23.42                 | 0.005               | 0.02                       |                  |
|      |      | 12/8  | 20               | 2        | 1.11         | 0.79             | 0.63      | 0.49        | -         | -         | -         | -         | -           | 56  | -     | -0.82 | 23.42                 | 0.035               | 0.17                       |                  |
|      |      | 12/11 | 20               | 5        | 0.47         | 0.33             | 0.17      | 0.17        | -         | -         | -         | -         | -           | 64  | -     | -1.02 | 23.42                 | 0.043               | 0.21                       |                  |
| 明    | c1   | 12/12 | 20               | 6        | 2.01         | 1.38             | 0.63      | 0.58        | -         | -         | -         | -         | 71          | -   | -1.24 | 23.42 | 0.053                 | 0.26                |                            |                  |
|      |      | 12/15 | 20               | 2        | 1.77         | 1.31             | 0.65      | 0.66        | -         | -         | -         | -         | 63          | -   | -0.99 | 23.42 | 0.042                 | 0.21                |                            |                  |
|      |      | 12/18 | 20               | 5        | 1.76         | 1.22             | 0.60      | 0.52        | -         | -         | -         | -         | 70          | -   | -1.21 | 23.42 | 0.052                 | 0.25                |                            |                  |
|      |      | 12/19 | 20               | 6        | 1.87         | 1.12             | 0.66      | 0.62        | -         | -         | -         | -         | 67          | -   | -1.10 | 23.42 | 0.047                 | 0.23                |                            |                  |
|      | c2   | 12/22 | 20               | 2        | 3.53         | 2.80             | 1.86      | 1.71        | -         | -         | -         | -         | 52          | -   | -0.72 | 23.42 | 0.031                 | 0.15                |                            |                  |
|      |      | 1/4   | 10               | 10       | 1.47         | 0.10             | 0.07      | 0.07        | -         | -         | -         | -         | 95          | -   | -2.99 | 41.83 | 0.071                 | 0.35                |                            |                  |
|      |      | 1/9   | 20               | 5        | 2.03         | 1.21             | 0.47      | 0.44        | -         | -         | -         | -         | 78          | -   | -1.53 | 23.42 | 0.065                 | 0.32                |                            |                  |
|      |      | 1/10  | 20               | 6        | 1.96         | 1.25             | 0.61      | 0.56        | -         | -         | -         | -         | 72          | -   | -1.26 | 23.42 | 0.054                 | 0.26                |                            |                  |
|      | c3   | 1/11  | 20               | 7        | 2.04         | 1.34             | 0.49      | 0.52        | -         | -         | -         | -         | 75          | -   | -1.37 | 23.42 | 0.058                 | 0.28                |                            |                  |
|      |      | 1/16  | 10               | 5        | 1.94         | 0.69             | 0.10      | 0.08        | -         | -         | -         | -         | 96          | -   | -3.24 | 41.83 | 0.077                 | 0.38                |                            |                  |
| 1/26 |      | 10    | 15               | 2.05     | 0.49         | 0.04             | →         | 0.02        | 0.01      | 0.02      | 0.00      | 0.00      | 99          | 100 | -4.63 | 41.83 | 0.111                 | 0.54                |                            |                  |
| 1/29 |      | 10    | 18               | 1.91     | 0.30         | 0.00             | →         | 0.00        | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 100         | 100 | -6.46 | 41.83 | 0.154                 | 0.75                |                            |                  |
| c4   | 2/5  | 20    | 7                | 2.30     | 1.06         | 0.11             | →         | 0.08        | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 97          | 100 | -3.37 | 23.42 | 0.144                 | 0.70                |                            |                  |
|      | 2/7  | 20    | 9                | 2.15     | 1.05         | 0.21             | →         | 0.10        | 0.07      | 0.05      | 0.04      | 0.05      | 95          | 98  | -3.07 | 23.42 | 0.131                 | 0.64                |                            |                  |
|      | 2/13 | 20    | 6                | 3.55     | 2.30         | 1.04             | →         | 0.73        | 0.64      | 0.11      | 0.00      | 0.00      | 79          | 100 | -1.58 | 23.42 | 0.068                 | 0.33                |                            |                  |
|      | 2/20 | 10    | 7                | 5.57     | 2.38         | 0.40             | →         | 0.12        | 0.01      | 0.01      | 0.02      | 0.02      | 98          | 100 | -3.87 | 41.83 | 0.092                 | 0.45                |                            |                  |
|      | 2/23 | 10    | 10               | 5.69     | 2.62         | 0.42             | →         | 0.10        | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 98          | 100 | -4.06 | 41.83 | 0.097                 | 0.47                |                            |                  |
|      | 2/26 | 10    | 13               | 5.46     | 2.38         | 0.33             | →         | 0.15        | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 97          | 100 | -3.61 | 41.83 | 0.086                 | 0.42                |                            |                  |

\*20rpmは550/day、10rpmは280/dayのPiston Flow(栓流)である。 \*\*簡易ろ床とは、1槽に湿重量2.5kgのスギ炭を浸漬したもので、浸漬ろ床の半量の接触材が入っている。