

1 活性炭共存微生物包括固定化法によるジベンゾフランの処理特性

2

3 Treatment of Dibenzofuran by Immobilized Microorganisms with Activated  
4 Carbon Process

5

6 朴 哲熙\*、梶内 俊夫\*、稲森 悠平\*\*、矢野 正健\*\*\*

7 \* 東京工業大学大学院総合理工学研究科 〒226-0026 横浜市緑区長津田町4259

8 \*\* 国立環境研究所地域環境研究グループ 〒305-0053 つくば市小野川16-2

9 \*\*\* 大王製紙株式会社 〒799-0402 伊予三島市紙屋町2-60

10

11

12 Cher-Hee PARK\*, Toshio KAJIUCHI\*, Yuhei INAMORI\*\* and Masatake YANO\*\*\*

13

14 \* Department of Environmental Chemistry and Engineering, Tokyo Institute of Technology,

15 Nagatsuta 4259, Midori-ku, Yokohama 226-0026 Japan

16 \*\* National Institute for Environmental Studies, Onogawa 16-2, Tsukuba, Ibaraki 305-0053 Japan

17 \*\*\* Daio Paper Corp., 2-60, Kamiya, Iyomishima, Ehime 799-0402 Japan

18

19

20 要旨

21 固定化微生物を用いて、パルプ工場排水中のダイオキシンの生物学的な高度処理技術の  
22 確立に関する実験を行った。微生物は光架橋樹脂と粉末活性炭によって固定化した。粉末  
23 活性炭の吸着能の影響、微生物のパルプ排水への適応性、ジベンゾフランの生物分解性、  
24 ダイオキシン類の炭素骨格構造を調査した。その結果、・・・となり、・・・が考えられ  
25 た。以上のことから、・・・という結論が得られた。

26

27 **Abstract**

28 The development of biological advanced treatment of dioxins in the pulp wastewater using  
29 immobilized microbes was studied. Microorganisms were immobilized by photo-crosslinked resin  
30 with powdered activated carbon (PAC). The effect of adsorption capacity of PAC, adaptation of  
31 microorganisms to pulp wastewater, and biodegradability of dibenzofuran (DBF), carbon based  
32 skeletal structure of dioxins were examined. As a result, ..... As a conclusion, .....

33

34 **Key words** :immobilization of photo-crosslinkable polymer, powdered activated carbon, biological  
35 treatment, pulp wastewater

36

37

38

## 39 1. はじめに

40 トリクロロエチレンやテトラクロロエチレン等の有機塩素化合物が平成5年3月環境基準に  
41 追加されたように、地下水汚染や土壌汚染などの原因物質としての有機ハロゲン化合物の処  
42 理対策は緊急を要する状況となってきた。難分解性かつ有害な有機ハロゲン化合物は微  
43 量でも遺伝毒性、催奇形性、発ガン性、毒性等で生態系および人体に影響を及ぼす恐れがあ  
44 るといわれている<sup>1,2)</sup>。特にダイオキシン類はそのような物質の代表的なものであり、廃棄物  
45 埋立地浸出水、ハイテク産業排水、製紙パルプ工場排水などから検出されることが報告され  
46 ている<sup>3)</sup>。

47 このような特定の汚濁物質を除去する上で、特殊な機能を有する微生物を包括固定化して  
48 活性炭共存微生物包括固定化法による生物処理特性について実験的な検討を行った。

49

## 50 2. 方法

### 51 2. 1 実験条件

#### 52 2. 1. 1 固定化方法

53 固定化法としてはアクリルアミド法<sup>14)</sup>、PVA-冷凍法<sup>15)</sup>、PVA-ホウ酸法<sup>16)</sup>等があるが、本実  
54 験では固定化操作が簡単で固定化条件が温和であり、固定化担体の連続生産が可能であるな  
55 どの利点を有する光硬化性樹脂を用いた固定化法を用いた<sup>11, 12)</sup>。粉末活性炭を含有する包括  
56 固定化担体の作成法を**Fig. 1**に示す。光硬化性樹脂10 gに対して、3%アルギン酸ナトリウム2 g、  
57 重合開始剤0.04 gの割合で混合し、この混合物に遠心分離で濃縮した分解細菌培養液3.5 g、粉

58 末活性炭0.5 gの割合でよく混合する。この混合物を注射器を用いて自然落下で緩速攪拌下の  
59 0.25 M塩化カルシウム液中に球状に滴下させると、塩化カルシウム皮膜で表面が覆われた液  
60 滴が速やかに形成される。その時の液滴内部は未架橋状態である。その液滴を塩化カルシウ  
61 ム溶液から取り出し、軽く水洗後に浸潤状態のまま蛍光ランプ（波長範囲300～400 nm）に  
62 よる5～10分間光照射を行うと、三次元ポリマー化して固定化ビーズ（粒径約3 mm）が得ら  
63 れる。さらにリン酸緩衝液内で約1時間攪拌してアルギン酸を除去し、実験に供した。粉末活  
64 性炭を共存させた固定化ビーズは、走査型電子顕微鏡で観察したところFig. 2の概念図に示す  
65 ように、活性炭微粒子および微生物フロックを包括した状態にある。この方法は難分解……  
66 …。

67

### 68 3. 結果および考察

#### 69 3. 1 底質調査

70 Fig. 1に示す計算モデルを考えて、円管内の流れが十分発達した流れであると仮定し、さら  
71 に、半径方向の速度成分、軸方向の熱伝導および粘性による発熱を無視すると、物性値一定  
72 の流体に対するエネルギー式は次のようになる<sup>11, 12)</sup>。

$$73 \quad u \frac{\partial \theta}{\partial x} = a \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \frac{\partial \theta}{\partial r} \right] \quad (1)$$

74 ただし、

$$75 \quad a = \frac{\lambda}{C_p \rho} \quad (2)$$

76

77 ここで、 $\theta$  : 円管内の温度( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u$  : 円管内の流速( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $r$  : 流下方向の中心軸からの半径方  
78 向の距離( $\text{m}$ ),  $x$  : 加熱開始点からの流下方向の距離( $\text{m}$ ),  $a$  : 温度伝導率( $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $\lambda$  : 流体の熱  
79 伝導率( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ),  $\rho$  : 流体の密度( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $c_p$  : 比熱( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )である。

80 :

81 :

#### 82 4. まとめ

83 付着微生物膜処理において、担体側のごく微視的な領域だけを微生物の活性が低下しない  
84 程度に加熱すれば、低温水中からでも汚濁物質の除去が可能なのではないかと考え、微視的  
85 保温領域への微生物膜の付着について基礎的な検討を行った。本研究では、加熱担体として  
86 理論および実験の展開上容易な円管を用いて、円管内層流熱伝導理論を適用してその解析を  
87 試みた。この研究から得られた主な結論を以下に示す。

88 1) 加熱担体による水温上昇は、担体の表面積、担体からの熱流束および処理水量を用い  
89 て式(16)で表すことができた。

90 2) 加熱担体表面に接して低温水が層流で流れる時、担体表面近傍にはバルク水よりも温  
91 度の高い領域が形成され、ここには微生物膜の付着が起こること、すなわち thermal  
92 microhabitatの存在が確認された。

93

#### 94 謝辞

95 本研究は、平成5年度および平成6年度文部省科学研究費（奨励研究(A)）の援助を受けて行

96 われたことを記して謝意を表す。

97

98

99 **記号表**

---

$\theta$  : 円管内の温度 (°C)

$\theta_s$  : 円管内壁の温度 (°C)

$\theta_0$  : 流入水温 (°C)

$\theta_f$  : 微生物膜表面温度 (°C)

$\Delta\theta_0$  : 実験開始時の温度上昇 (°C)

$T$  : 代表温度 (K)

$u$  : 円管内の流速 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$u_m$  : 円管内の平均流速 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$V$  : 実験開始時の円管内平均流速 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$V_0$  : 実験開始時の流出端での平均流速 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$V_1$  : 一定期間経過後の円管内平均流速 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$V_2$  : 一定期間経過後の流出端での平均流速 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

---

100

101

102

103 参考文献

- 104 1) 吉澤正, 山縣晋, 清水明, 半野勝正, 宇野健一 (2009) ダイオキシン類水質環境基準値を  
105 超過した水深の浅い湖沼の水質特性, 水環境学会誌, **32**, 435-440.
- 106 2) Kikuchi, M., Wakabayashi, M., Kojima, H. and Yoshida, T. (1980) Bioaccumulation profiles of  
107 <sup>35</sup>S-labelled sodium alkylpoly (*oxyethylene*) sulfates in carp (*Cyprinus carpio*), *Water Res.*, **14**,  
108 1541-1548.
- 109 3) 日本水道協会 (1993) 「上水試験方法」, 795 pp., 日本水道協会, 東京.
- 110 4) Fogg, G. E. (1975) *Algal Cultures and Phytoplankton Ecology*, 2nd Ed., 175pp., Univ. of  
111 Wisconsin Press, Madison, Wisconsin.
- 112 5) 須藤隆一 (1991) 土の微生物実験法, 「環境微生物実験法」 (須藤隆一編), pp. 178-179,  
113 講談社, 東京.
- 114 6) Bierman, V. J. Jr. (1976) Mathematical model of the selective enhancement of blue-green algae by  
115 nutrient enrichment, in “Modeling Biochemical Processes in Aquatic Ecosystems” (Ed. Canale, R. P.),  
116 pp. 1-29, Ann Arbor Science, Ann Arbor.
- 117 7) 農林水産省動物医薬品検査所 (2008) 動物用医薬品等データベース,  
118 [http://www.nval.go.jp/sap/asp\\_dbDR\\_idx.asp](http://www.nval.go.jp/sap/asp_dbDR_idx.asp) (2008年10月時点)
- 119 8) U. S. EPA (2007) EPI Suite, Version 3.20, <http://www.epa.gov/opptintr/exposure/pubs/episuite.htm>  
120 (2008年10月時点)

121

122

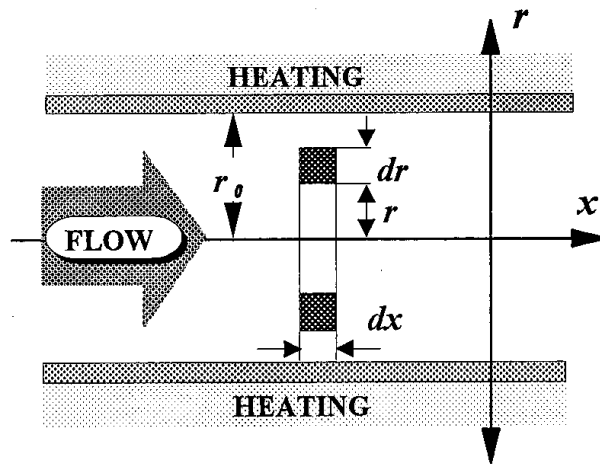
123

124

125

126

127



125

126

**Fig. 1** Numerical model in the circular tube

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

**Table 1** Basal minimum medium used in this study

143

Component	Concentration (mg/L)
$K_2HPO_4$	3,240
$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$	1,000
$NH_4Cl$	2,000
disodium nitrilotriacetate	123
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	200
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	12
$MnSO_4 \cdot H_2O$	3
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	3
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	1

144

145