

# 下水処理工程における環境ホルモン除去効果の改善

大気環境部 齋藤 剛

## 1 はじめに

生殖機能に影響を及ぼす恐れのある内分泌かく乱化学物質（以下、「環境ホルモン物質」という。）が近年注目されている。これらの化学物質は現在約70種類がリストアップされている。その中には非意図的に生成され、生活排水に排出されるものもあり、挙動の解明及び公用水域への排出の抑制が重要な課題とされている。

平成10年度から建設省（現・国土交通省）が下水道終末処理場における環境ホルモン物質に関する調査を行った結果、処理場ごとの除去効率にばらつきのあることが分かった。

そこで、既存の下水処理場において、環境ホルモン物質の除去機構の解明を行い、その結果を基に除去効率の改善について検討を行った。

## 2 研究方法

### 2.1 対象物質

プラスチックの添加剤として使用され、年間生産量が約25万トンと多い物質であるビスフェノールA（BPA）を中心に、環境ホルモン物質4種類、対照物質としてオクタノール - 水分配係数が負である水溶性の化学物質3種類を対象とした（表1）。なお、オクタノール - 水分配係数（log Pow）は、化学物質が油と水のどちらに溶解しやすいかを示す値であり、値が小さいほど水に溶解しやすい。

表1 対象とした化学物質

化学物質	オクタノール - 水分配係数 (log Pow)
ビスフェノールA (BPA)	3.32
フタル酸ジ - n - ブチル (DBP)	4.72
フタル酸ジ - 2 - エチルヘキシル (DEHP)	7.6
アジピン酸ジ - 2 - エチルヘキシル (DEHA)	8.13
1,4-ジオキサン (DIO)	-0.27
ジメチルホルムアミド (DMF)	-1.01
エチレングリコールモノエチルエーテル (EGEE)	-0.32

### 2.2 下水処理場におけるBPA除去効率の実態調査

A 下水処理場において年4回、最初沈殿池の前後、最終沈殿池の後、

そして放流口の4カ所においてBPA濃度の実態調査を行った。採水は自動採水器により1日1時間間隔で24回採水し、その混合試料について調査を行った。

### 2.3 室内実験

#### 2.3.1 実験装置

汚泥初期吸着、除去効果等の試験に使用した装置を図1に示す。

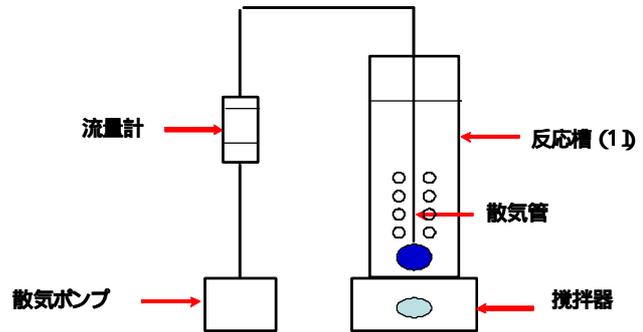


図1 室内実験装置の概略図

#### 2.3.2 汚泥初期吸着試験

反応槽に所定の濃度の活性汚泥を入れ、人工汚水、清水（エビアン）を入れた後、各対象物質を溶かしたアセトン溶液を適量マイクロシリンジで添加し、5～6回転倒攪拌した後、速やかに反応槽から試料を採取し、遠心分離で上澄みを取り出し、分析に供した。

#### 2.3.3 除去率試験

2.3.2の操作を行った後、直ちに曝気を6時間行い、適宜試料を採取し、遠心分離で上澄みと汚泥に分離し、それぞれ分析に供した。

## 3 結果

### 3.1 下水処理場におけるBPA除去効率の実態調査

実態調査の結果を図2に示す。下水処理工程におけるBPAの除去率は33～72%とばらつきが大きかったが、曝気槽及び最終沈殿池での除去が大部分であった。

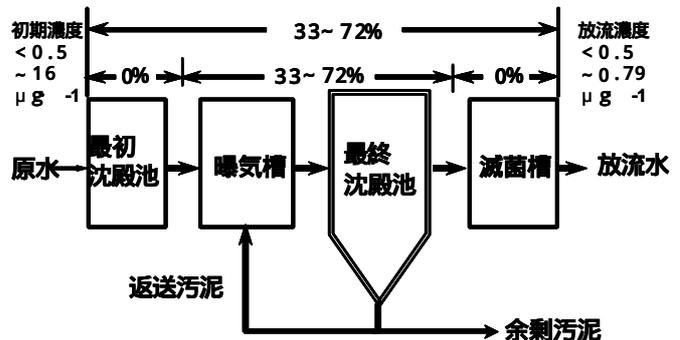


図2 実際の下水処理場におけるBPAの除去実態

### 3.2 室内実験の結果

#### 3.2.1 曝気によるBPAの経時変化

図1に示した装置で、下水処理場と同一条件（活性汚泥濃度（MLSS） $1,500\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、曝気時間6時間）でBPAの初期濃度を $200 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ として、室内実験を行った。結果を図3に示す。BPAは全体の71%が除去され、そのうち約40%が汚泥への初期吸着によるものであった。

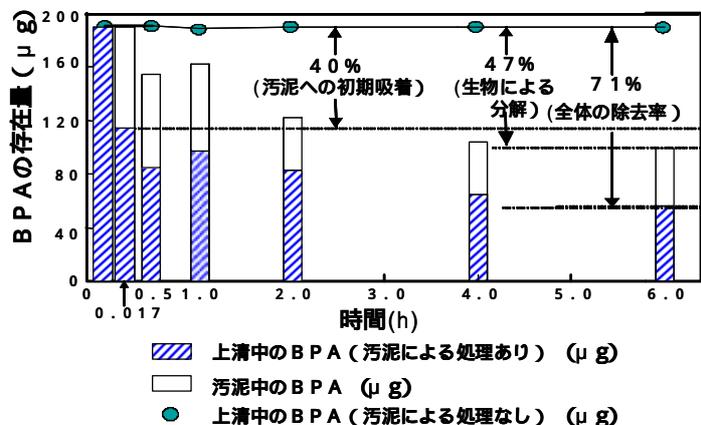


図3 室内実験におけるBPAの汚泥への初期吸着及び生物分解

### 3.2.2 BPAの汚泥への初期吸着

返送汚泥の量を増やし、曝気槽内での活性汚泥濃度を上げることに  
より汚泥への化学物質の初期吸着効果は向上した。また、活性汚泥を  
曝気槽に再び戻す前に10  
時間以上の空曝気（以下、修  
正再曝気法という。）を行う  
ことにより初期吸着能がほ  
ぼ回復することが分かった  
（表2）。また、空曝気を20  
時間行う工程を繰り返す試  
験の結果、1回目から3回目  
の空曝気工程まで汚泥中の  
BPAを完全に除去できるこ  
とが分かった。

表2 返送汚泥の空曝気による除去効果  
(MLSS  $1,500\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、BPA  $200\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ )

空曝気時間 (h)	除去率 (%)
0(空曝気なし)	54
10	90
20	100

### 3.2.3 修正再曝気法によるBPAの除去効果の改善

長時間運転による効果を図4に  
示す。まず、活性汚泥濃度 (MLSS)  
 $1,500\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、BPA濃度  $200\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$   
で修正再曝気法による試験を  
実施したところ、汚泥の増殖に阻害  
が見られた。次に BPA濃度を下水  
処理場流入水の一般的な濃度であ  
る  $10\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ まで下げたところ、  
汚泥は順調に増殖した。さらに  
MLSSを  $2000\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ としたと  
ころ、BPAの95%が除去できるこ  
とが分かった。また、再曝気を行わ  
ない方法に比べて除去効率の向上  
が見られた。

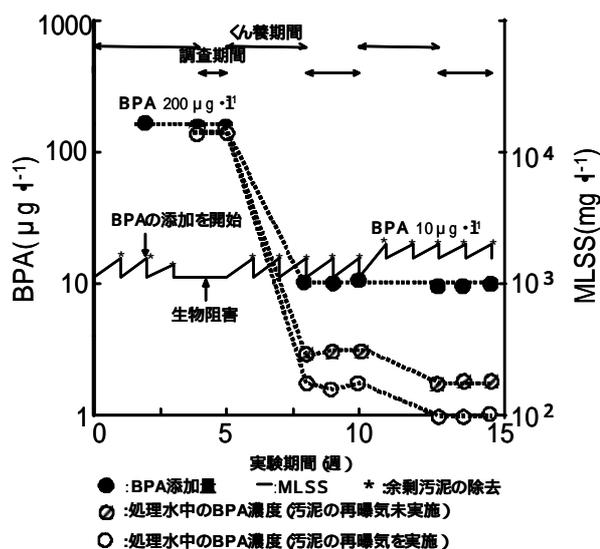


図4 室内実験における活性汚泥 BPA濃度の変化

### 3.2.4 他の化学物質への修正再曝気法の適用

修正再曝気法を用いた際の汚  
泥への初期吸着率とオクタノー  
ル - 水分配係数 ( $\log P_{ow}$ )との  
関係を図5に示す。 $\log P_{ow}$ の値  
の大きい物質である DEHP、DBP  
等は高い初期吸着率を示すが、  
 $\log P_{ow}$ の値の小さい物質であ  
る DIO、DMF 及び EGEE は低い  
初期吸着率であった。また、この  
相関は、S 字曲線を示すことが分

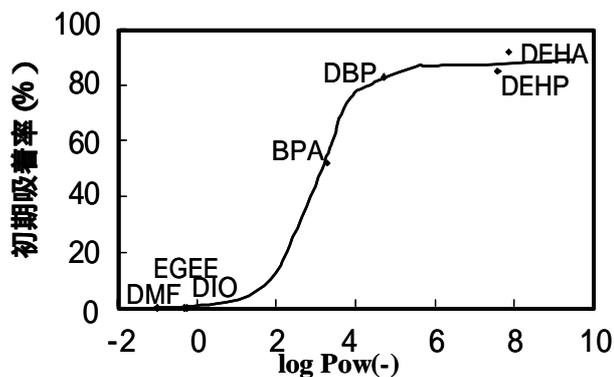


図5  $\log P_{ow}$ と汚泥への初期吸着との関係

かった。

室内実験における各対象物質の除去率とlog Pow及び化審法の既存化学物質安全性データ集における生物分解度<sup>1)</sup>との関係を図6に示す。

log Powの値が大きい物質(DBP、DEHP、DEHA)は、生物分解度の値にかかわらずいずれも良好な除去率が得られた。また、log Powの値が小さい物質であっても、生物分解度が0でない物質(DMF、EGEE)は良好な除去率が得られた。これらの物質のうち生物分解度の低い物質であるDMFは生物分解ではなく吸着による除去が進行しているものと考えられた。

BPAは生物分解度は0であったが、log Powの値が3程度と比較的大きいことから、室内実験の濃度レベルでは主に生物吸着による除去が行われているものと考えられた。

生物分解度が0であり、log Powの値が負であるDIOは除去効果がほとんど認められなかった。

従来法に比べて修正再曝気法の採用による除去率の向上が見られた化学物質はBPA及びDBPであった。

#### 4 まとめ

本研究では下水処理工程における環境ホルモン物質を中心とする化学物質の除去効率の改善を目的として、現場での除去効果、回分式の室内実験での除去特性、高率除去運転の条件等の検討を行った。その結果、環境ホルモン物質などの化学物質の除去の際、今回試験を行ったほとんどの物質について、既存の下水処理場の活性汚泥法に返送汚泥の再曝気を組み込んだ処理方法の改善が有効であることが明らかとなった。

#### (参考文献)

- 1) 通商産業省基礎産業局化学品安全課監修(1992)化審法の既存化学物質安全性点検データ集,(社)日本化学物質安全・情報センター
- 2) 齋藤剛、大塚知泰、庄司成敬、井上充、安部明美(2002)化学物質の下水処理工程における除去効果の改善,水環境学会誌,25,97-103.

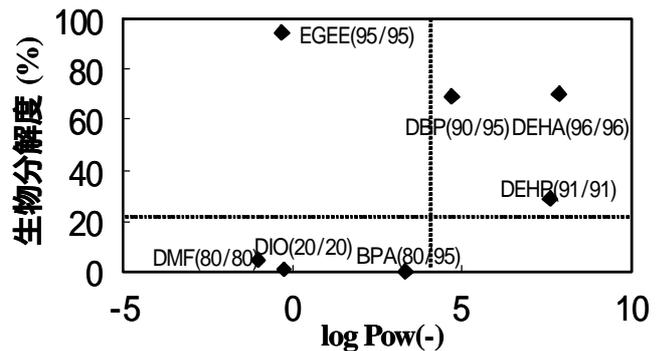


図6 室内実験での除去率とlog Pow及び生物分解度の関係  
括弧内の数値：(室内実験での従来法 / 修正曝気法での除去率(%))