

下水の間欠接触酸化処理における スポンジ担体の干出による酸素供給効果の検討

Oxygen Supply by Exposure of Sponge Media to Air
in Alternate Contact Oxidation Process for Wastewater Treatment

学籍番号 47-156738
氏名 黒木 雄介(Kuroki, Yusuke)
指導教員 佐藤 弘泰 准教授

1、背景、目的

間欠接触酸化法は、微生物担体を下水と空気に交互に接触させることで、無曝気で有機物除去を促進する技術である(図1)。この仕組みを応用し管路内で下水浄化を行う技術も開発されている。1)間欠接触酸化法では主にスポンジ担体の干出によって酸素が供給される。酸素の不足は有機物除去性能の低下を招くため、干出による酸素供給効果の検討はきわめて重要である。そこで本研究では、スポンジ担体の干出による酸素供給効果を検討する実験を行い、酸素供給を簡単なモデル式であらわした。また、プロセスの起こる場である担体内部の空間構成を把握・記述する方法を検討した。そして、一連の検討を踏まえて間欠接触酸化法についての検討手法上の課題を整理した。

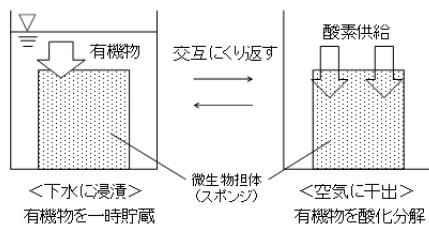


図1 間欠接触酸化法の原理

2、担体内部の空間構成の検討

間欠接触酸化法のプロセスの場である微生物担体の内部は、気・液・固相が混在す

る複雑な場であるが、干出による酸素供給を検討する上では、内部空間の構成を把握することは欠かせない。特に、排水にともない担体内部に流入する酸素の量を把握することが重要である。そこで、排水直後の担体質量を測定し、スポンジの質量を引いて担体の含水量を求め、体積含水率および気液交換率を以下のように定義した。

体積含水率

$$= \frac{\text{含水量(g)} \div \text{水の密度(g/cm}^3\text{)}}{\text{担体体積(cm}^3\text{)}}$$

気液交換率

$$= 1 - \frac{\text{担体体積(cm}^3\text{)} \times \text{体積含水率}}{\text{担体体積(cm}^3\text{)} \times \text{担体の間隙率}}$$

気液交換率は内部空間のうち排水時に下水と空気が交換される空間の割合を示す指標であり、担体体積と気液交換率に空気1L中の酸素含有量をかけることで、排水にともなう空気の移流によって担体内部に供給される酸素の量を求めることができる。

3、実験的検討

3-1 方法

担体の干出による酸素供給効果を検討す

るための実験的検討を行った。厚さ 2cm、約 7cm 四方のスポンジを 4 つ重ねて束ね（総体積約 400mL）、微生物を植種した。これを設置した装置を 3 つ作成し、人工下水 800mL を「流入 3 分/浸漬 5 分/排水 2 分/干出 10 分」のサイクルで間欠的に与えた。十分な馴致期間の後、以下の実験を行った。

実験 A) 干出時間の影響（実施：9 月下旬）

各系で人工下水中の全有機態炭素(TOC)濃度の推移を測定し、通常運転時の有機物除去速度に差がないことを確認した。また、各担体の気液交換率から移流による酸素流入量を算出した。その後担体の干出時間の違いによる有機物除去への影響を調べるため、運転時間を表 1 のように変更して運転し、そのときの TOC 濃度推移を測定した。

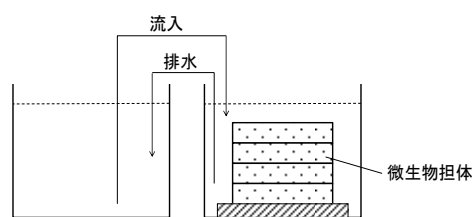


図 2 実験装置の概略図

表 1 実験 A の運転条件

	流入	浸漬	排水	干出
1系	3分	15分	2分	0分
2系	3分	5分	2分	10分
3系	3分	0分	2分	15分

実験 B) 酸素供給経路の影響（12 月上旬）

実験 A と同様に通常運転時の有機物除去速度に各系で差がないことを確認し、気液交換率を測定した。酸素供給経路の違いによる影響を調べるため、各系で異なる条件で運転し TOC 濃度の推移を比較した。運転

条件は、「1系：担体は常に人工下水に浸漬させ酸素供給経路を遮断」「2系：通常通りの運転を行い酸素供給経路の制限なし」「3系：担体を底面と上面の一部を除いてビニールで被覆し担体表面での空気との接触による分子拡散の効果を遮断」とした。

実験 C) 微生物による酸素消費（12 月下旬）

通常運転時の TOC 濃度推移を測定した後、排水直後の各系の担体をばらして並べ、表面に蛍光式酸素濃度センサーを設置した状態でガラス板を被せて表面を密閉した。そして担体表面での酸素濃度推移を測定した。各実験時の流入前と排水後の下水中 TOC 濃度を測定し、有機物除去量を求めた。

3-2 結果と考察

実験 A の TOC 濃度の測定結果を図 4 に示す。干出時間の違いにもかかわらず、有機物除去速度にほとんど差はなかった。これは短い干出時間でも空気の移流による酸素供給で有機物除去が進みうることを示している。3 系では酸化分解のための十分な干出時間はなかったため、有機物の大部分は非酸化的に除去され一時貯蔵された可能性が高い。各系での有機物除去速度は BOD 換算で 160~175mgBOD/担体 L/h で、酸素流入量は 340~410mgO/担体 L/h だったので、酸素供給量は十分だったと予想できる。

実験 B において、1 系での TOC 濃度の下げ止まりは酸素と ATP の不足で非酸化的有機物摂取が止まったためだと考えられる。一方担体表面の被覆の有無にも関わらず、2 系と 3 系で TOC 除去速度にほぼ差がなかった。この結果から、干出による担体への酸素供給は、排水に伴う移流の効果による寄与が支配的であることが示唆される。

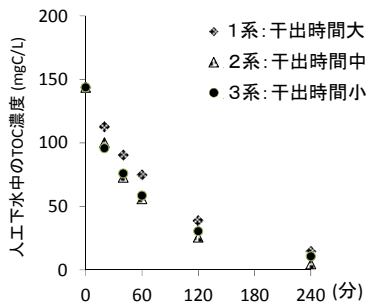


図3 実験AのTOC濃度推移

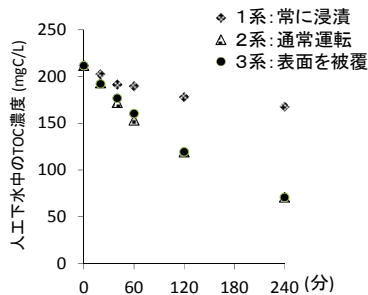


図4 実験BのTOC濃度推移

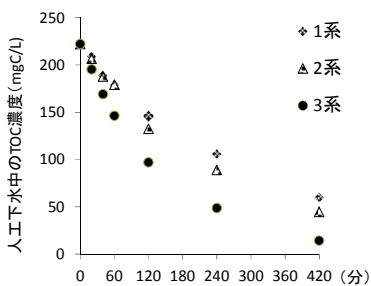


図5 実験CのTOC濃度推移

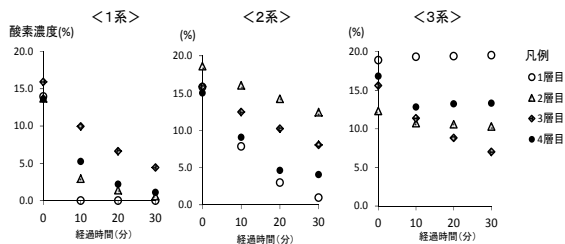


図6 各担体表面での酸素濃度推移

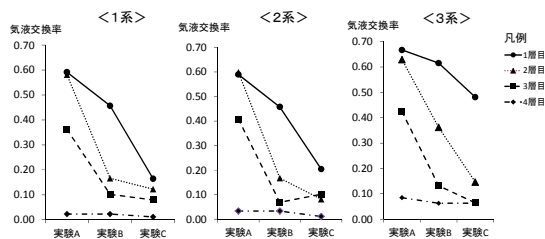


図7 各実験の担体ごとの気液交換率

実験CのTOC濃度推移を見ると(図5)、各系での有機物除去速度は1系:81mgC/担体L/h、2系:98mgC/担体L/h、3系:130mgC/担体L/hだった。一方担体内部への酸素流入量は1系:10.5mgO、2系:11.3mgO、3系:22.3mgOだった。1系と2系では閉塞の進行により担体内部への酸素供給量が少なく、その結果3系に比べて有機物除去能力が低下した可能性がある。

各担体表面での酸素濃度の推移を図6に示した。この測定は、担体内部での酸素消費速度を近似的に見ている。担体試料中央にあたる3層目の数値を用いると、30分間の酸素濃度の低下は、1系:11.5%、2系:7.8%、3系:8.6%だった。3層目の酸素濃度の減少が担体内部に流入した酸素の消費速度の平均を示しているとするれば、30分間の担体内部での酸素消費量は、1系:5.7mgO、2系:4.2mgO、3系:9.1mgOとなる。一方有機物除去量はBOD換算で1系:9.1mgBOD、2系:11.5mgBOD、3系:19.0mgBODで、実際の運転での干出時間が10分しかないことを考慮すると、BOD除去量に対して酸素消費量が小さい。この原因として、閉塞の進行によって移流効果による酸素供給の寄与が低下したことや、担体内部への酸素供給が有機物の一時貯蔵をより促進している可能性が考えられる。

最後に各担体の気液交換率の推移を図7に示した。気液交換率の低下は、担体の閉塞の進行を表している。いずれも運転の継続にともない気液交換率は低下したが、下層の担体の方がそれが早い傾向にあり、垂直方向で閉塞の進行にも差があることを示す結果であった。

4、総合的考察

4-1 酸素供給のモデル式

微生物への酸素供給経路は、1)下水中の溶存酸素、2)空気中からの分子拡散、3)排水にともなう空気の移流、の3つに分類されるので、1日あたりに微生物担体に供給される酸素供給量を以下の式で表される。

$$\begin{aligned} O_2(\text{total, day}) &= N \times [O_2(DO) + O_2(\text{分子拡散}) + O_2(\text{移流})] \\ &= N \times [O_2(\text{溶存酸素}) + f(A, t) \\ &\quad + \{(V \times a) + (b \times t)\} \times 0.3] \end{aligned}$$

N: 1日あたりサイクル数、A: 担体の表面積(cm²)、t: サイクルあたり干出時間(min)、V: 担体体積(cm³)、a: 気液交換率、b: 時間あたりに抜ける水量(mL/min)、空気1Lあたりの酸素含有量を0.3g/Lとした。

溶存酸素の寄与はそれほど大きくないが、装置構成等によってある程度の酸素供給量を得る可能性がある。分子拡散による酸素供給量は、担体の内外の酸素濃度勾配が一定とすれば担体の表面積と干出時間の関数となる。最も主となる排水にともなう空気の移流効果は、担体体積、気液交換率、干出時間の関数として表せる。

担体の体積を一定とすると、サイクル数と1サイクルあたりの干出時間はトレードオフの関係にある一方、空気の移流効果による酸素供給量はサイクル数との掛け算によって増幅される。したがって、間欠接触酸化法における酸素供給量を効率的に向上させるには、実験結果からも示唆されたように、気液交換率を高く保ちながら1日あたりのサイクル数=下水と空気との交換回数も多く取ることが重要であると言える。

4-2 検討手法上の課題

検討手法上の大きな課題は、微生物担体の内部空間が複雑かつ不均一であり、かつその分析のために非破壊的な測定が難しいことである。そのため、代表点となる試料を適切に選定すること、評価指標などの基準化の方法を適切に設定することが求められる。また、非破壊的に適用が可能な分析手法の開発や、検討目的に応じた適切な実験系の組み方を考えることが重要だといえる。プロセスの生じる場である担体の内部空間を理解し、現象を適切な指標で記述することにより、既存の技術との有意義な比較につながり、技術的向上が期待できる。

5、結論

本研究では、間欠接触酸化法における担体の干出による酸素供給効果を検討し、以下の結論を得た。

- 1) 微生物担体の内部空間の構成を把握・記述するための指標を定義した。
- 2) 酸素供給は排水にともなう空気の移流効果が支配的であり、短い干出時間でも、水と空気との交換が起これば有機物除去が十分に促進されることが分かった。
- 3) 担体の閉塞による酸素流入量の低下が有機物除去速度の低下につながることが示唆された。
- 4) 微生物担体への酸素供給を表す簡単なモデル式を提示した。
- 5) 一連の検討を踏まえ、検討手法上の課題を整理した。

参考文献

- 1) 玉木ら(2016)第53回下水道研究発表会講演集, 980