

上昇線流速が UASB 槽内の嫌気性原生動物へ与える影響

長岡工業高等専門学校 覚道由郎 荒木信夫 押木守
株式会社植木組 吉田力
長岡技術科学大学 山口隆司 平片悠河

1. はじめに

上昇流嫌気汚泥床(Up-flow Anaerobic Sludge Blanket: UASB)法とは、嫌気性反応を利用した排水処理法である。好気性処理に比べ、曝気が不要のため省エネルギー、余剰汚泥の発生量が少ない、メタン回収が可能といった利点をもつ。しかし、低有機物濃度の都市下水では処理が安定せず、UASB 法は先進国の都市下水処理には適用されていない。既存の研究では、都市下水処理を行っている UASB 槽内の汚泥中に $10^2 \sim 10^4$ cells 程の嫌気性原生動物の存在が確認され、嫌気性原生動物が UASB 槽の処理を安定させることが報告されている。このことから、嫌気性原生動物を UASB 槽内に高濃度にすることで処理性能が向上すると考えられる。しかし、嫌気性原生動物の増殖特性は解明されていない部分が多いのが現状である。我々は UASB リアクターを運転中実験機器の不具合や停電等によりリアクターが一時的に停止後、それまで存在していた嫌気性原生動物の数が急激に減少しその後増殖を確認できなかった。リアクター停止後、槽内の上昇水流が無くなり汚泥は沈降し、スラッジベッドの空隙率が小さくなる。嫌気性原生動物は、遊泳できないと生命を維持できないと仮定すると、沈降した汚泥内では遊泳できずに死滅する。スラッジベッド内は細胞外ポリマーという粘性のある物質を含む。一度沈降した汚泥は細胞外ポリマーの粘性により解れにくくなり、リアクターを再稼働しても原生動物の捕食活動に必要な空間が獲得できず原生動物が増殖できなくなると仮定した。これを我々の経験した現象の原因とし、解決策として、槽内の上昇線流

速を上昇させスラッジベッドの空隙率を大きくすることで、原生動物が遊泳できるようになり原生動物の増殖に繋がるのではないかと考えた。そのため、この仮説の成否を明らかにするために、実都市下水を基質としてラボスケール UASB リアクターを運転し、上昇線流速を段階的に変化させ、原生動物の優占種と細胞数を追跡した。

2. 実験方法

図 1 に培養装置の概略を示す。培養装置には高さ 1.5 m, カラム高さ 1.0 m, 内径 0.2 m, カラム容量 32L のラボスケール UASB リアクターを用いた。種汚泥は、グラニュー汚泥を供し、長岡中央浄化センターから供給されるスクリーン通過下水を気質として UASB リアクターに連続通水した。培養は約 560 日間行い、運転期間を通して無加温で運転し、COD 負荷が概ね $1.0 \text{ g-COD/L} \cdot \text{day}$ になるように HRT を培養開始時に 24 h に、培養 55 日目に 18 h に、培養 114 日目に 12 h、培養 168 日目に 10h に設定した。また、培養開始直後は循環を行わず(Run1)、培養 66 日目からは、リアクター上部から基質流入口に循環させ、上昇線流速を調節した。循環による上昇線流速は培養 66 日目に 4 m/d (Run2)、培養 117 日目に 8 m/d (Run3)、培養 237 日目に 12 m/d (Run4)、培養 372 日目に 0 m/d (Run5)、培養 412 日目に 12 m/d (Run6)、培養 525 日目に 20 m/d (Run7)に設定した。

汚泥サンプルの採取は、UASB 内の汚泥面よりも下にある直近のポートから行った。採取したサンプルは直ちに顕微鏡観察した。また、リアクターの処理性能を評価するために、流入水と処理水の採取を行い、流入水と処理水の全成分と溶解性

成分に対してそれぞれの COD_{Cr} を水質測定器を使用し、測定した。

採取した汚泥サンプルは、顕微鏡観察を行うため $30 \mu\text{l}$ をスライドガラス上に滴下し、倒立顕微鏡下でカバーガラス全視野を 5 回観察し、種類別に平均値と標準偏差を算出した。計測対象は目視による形態判別が可能な嫌気性繊毛虫類、*Metopus palaeformis*, *Metopus contortus*, *Chaeno-morpha* sp., *Plagiopyla* sp. の 4 種とした。

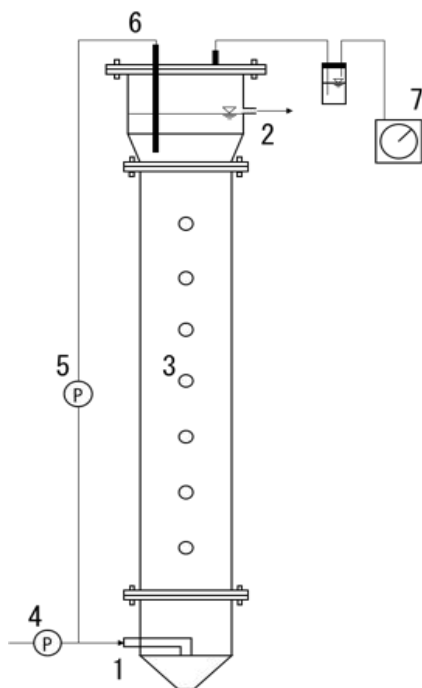


図-1 リアクター概略図

3. 結果及び考察

図 3 のリアクター運転期間における COD、図 4 に COD 除去率の経日変化を示す。運転期間における COD は、下水の全成分で $407.0 \pm 149.8 \text{ mg/L}$ 、処理水の全成分で $142.0 \pm 77.0 \text{ mg/L}$ 、処理水の溶解性成分で $98.6 \pm 39.0 \text{ mg/L}$ であった。この時、下水の全成分 COD が 1000 mg/L を超える時のデータに関しては、下水貯留タンク内に溜まった高濃度の SS を採取したためと判断し、除外して値を算出した。運転期間における COD 除去率は全成分で $66 \pm 19\%$ 、溶解性成分で $73 \pm 13\%$ であった。

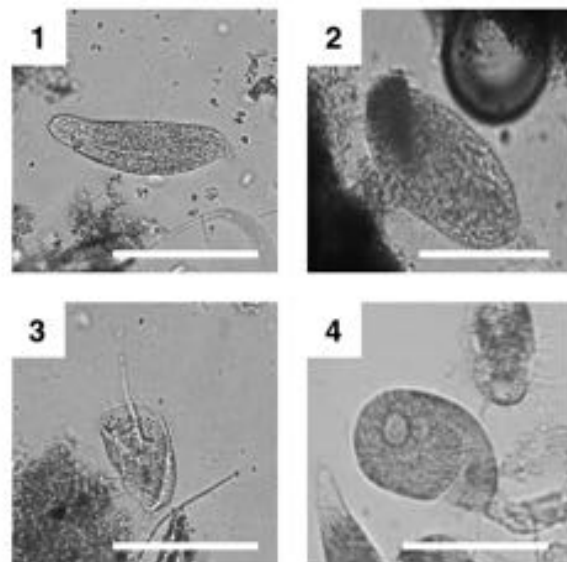


図-2 研究対象とした 4 種の原生動物
 1 *Metopus palaeformis*, 2 *Metopus contortus*,
 3 *Chaeno-morpha*, 4 *Plagiopyla*
 The scale bar is $100 \mu\text{m}$.

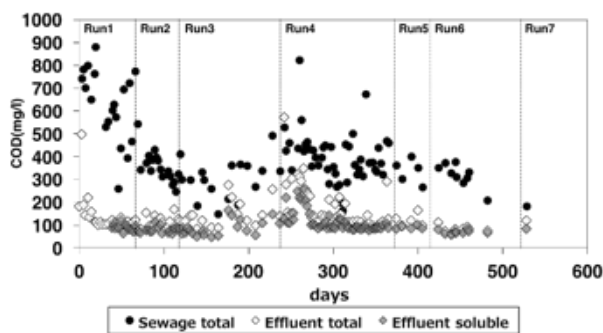


図-3 運転期間における COD 濃度の推移

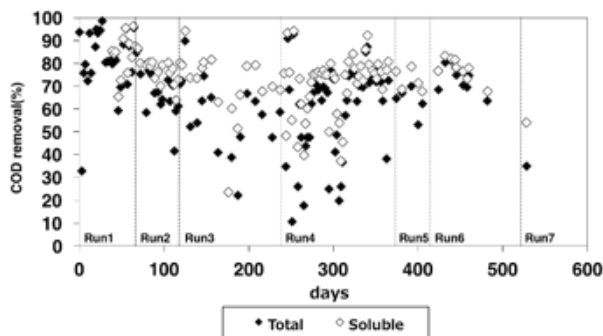


図-4 運転期間における COD 除去率の推移

図 5 に嫌気性原生動物数の経日変化を示す。循環による上昇線流速を段階的に増大させた Run1-4 間では、培養開始直後（循環無し, Run1, ベッド膨張率 E (Run1 のスラッジベッドの高さを 1 として、各線流速でのベッド膨張高さから算出)=1) における、*M. palaeformis* の急激な増殖、Run2($E=1.08$)では *M. palaeformis* と *Chaenomorpha* sp. の増殖、Run3($E=1.15$)では *M. contortus*, *Chaenimorpha* sp. と *Plagiopyla* sp. の増殖、Run4($E=1.23$)では *M. palaeformis* の大幅な増殖を確認した。

増殖が抑制される Run1 での原生動物の増殖は、グラニューールの表面に凹凸があり、遊泳空間が確保されていたことが原因と考えられる。

Run2 では Run1 の約 3 倍の上昇線流速を追加で与えている。Run2 での原生動物の増殖は上昇線流速がスラッジベッドの空隙率を高め、原生動物に遊泳空間を提供したことを裏付ける。

Run3 では *Plagiopyla* が、Run4 では *M. palaeformis* が、それぞれ前段階の培養条件では見られないほどに増殖をしており、これらより、上昇線流速と原生動物数の相関する可能性が示唆された。

Run5($E=1.03$)にて循環を停止させ、再び原生動

物の増殖を抑制した。すると原生動物は Run5 期間において、500 cells/ml 以上の増殖がなかった。また、Run6(=Run4($E=1.23$))に移行すると直ぐに Run4 と同等の増殖を確認した。原生動物には遊泳空間が必須であると我々の考えを示すものである。

一方、原生動物の優占種は同じ条件で運転を行うと短期間で変遷する現象が観察された。優占種の急激な変化は Run4, 6 のような線流速が大きな条件で顕著であった。この現象の原因は明らかではないが、流出水には大量の原生動物が含まれていることがあり、線流速が大きいくほど発生頻度も増していることから、原生動物の急激な流亡が優占種の激変の一つの要因であると考えられる。

また、線流速が過大な Run7($E=1.44$)では原生動物の急激な減少が確認されたが、これはスラッジベッド内を遊泳する原生動物が大きな水流に耐えきれず槽外へ流出するウォッシュアウトの発生が原因と考えられる。UASB 内に高濃度に原生動物を保つには、十分な遊泳空間を確保しつつ原生動物の流出を抑える適切な上昇線流速の設定が必要である。

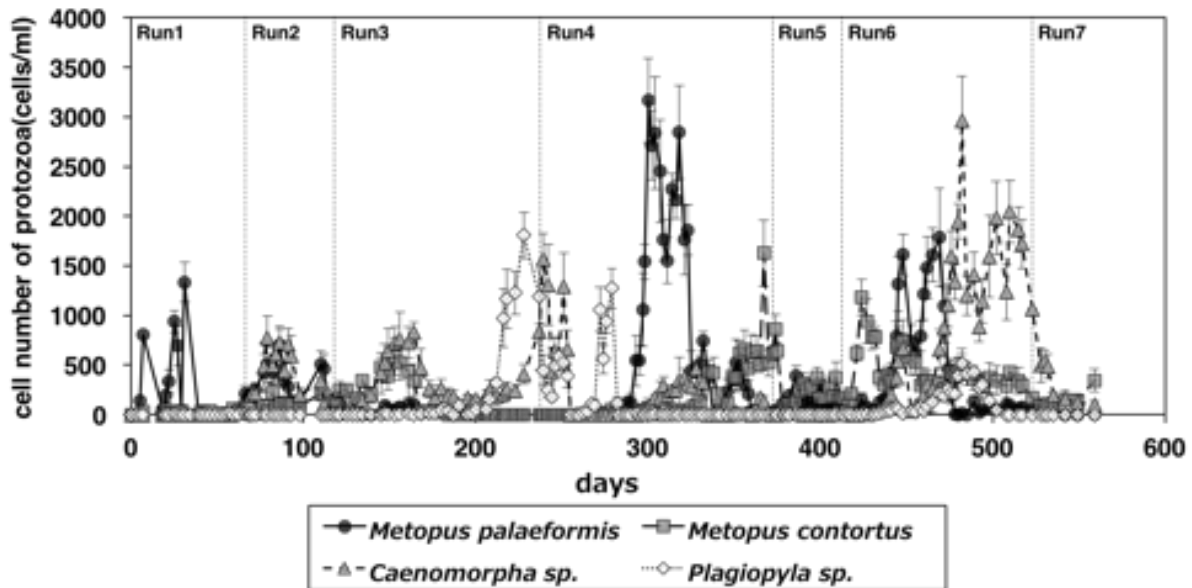


図-5 UASB内の4種の原生動物および各Runにおける処理水循環の上昇線流速: Run1, 0 m/d; Run2, 4 m/d; Run3, 8 m/d; Run4, 12 m/d; Run5, 0 m/d; Run6, 12 m/d; Run7, 20 m/d. エラーバーは標準偏差を表す

4. まとめ

本研究では、都市下水処理 UASB 内の循環による上昇線流速を 0-20 m/d に段階的に変化させる実験により、槽内の嫌気性原生動物叢に以下の影響が観察された。

- ① スラッジベッド内の上昇線流速を段階的に増大させると、線流速 0-12 m/d の間では原生動物の最大細胞数が増大した。一方、線流速 20 m/d では原生動物数が著しく減少した。
- ② UASB 内の原生動物の優占種は短期間で変化し続け、その変化は同一条件の運転期間においても観察された。その現象は線流速が大きい条件で顕著であった。

5. 文献

1. 長岡工業高等専門学校 環境都市工学専攻 関由里絵, 高橋良太, 荒木信夫, 長岡技術科学大学 大学院環境システム工学科 小野心也, 山口隆司, UASB リアクター内の嫌気性原生動物の補食特性
2. M. priya et al.: Involvement of protozoa in anaerobic wastewater treatment process, ScienceDirect, Vol.41, pp. 4639-4645, 2007.
3. Priya, M., A. Haridas, and V.B. Manilal. (2007). Involvement of protozoa in anaerobic wastewater treatment process. Water. Res. 41:4639– 4645.
4. Hirakata, Y., M. Oshiki, K. Kuroda, M. Hatamoto, K. Kubota, T. Yamaguchi, H. Harada, and N. Araki. (2016). Effects of predation by protists on prokaryotic community function, structure, and diversity in anaerobic granular sludge. Microbes Environ. 31:279-287.