

浸漬型嫌気性 MBR を用いた SS 含有人工下水処理における HRT の影響

東北大学 学生会員 ○高橋慎太郎

東北大学 学生会員 砂庭崇之

東北大学 正会員 李玉友

東北大学 正会員 原田秀樹

1. はじめに

嫌気性処理は好気性処理と比較して、曝気動力が少ない、余剰汚泥の発生量が少ない、バイオガスを回収利用できるなどの利点から産業排水処理において広く用いられている。

排水処理に分離膜を組み合わせた場合の利点として、分離膜によって浮遊性物質 (SS) を完全に除去することが可能であり、反応槽内の汚泥を高濃度に保持できることから後段処理の簡略化・省スペース化が可能である。生物処理に膜分離技術を導入した膜分離活性汚泥法 (MBR) の普及が下水処理分野において進んでいる。特に、分離膜を生物反応槽内に浸漬させた浸漬型の膜分離法が省スペースの観点から広く用いられている。近年、嫌気性処理と膜分離技術を組み合わせたプロセスの開発が注目され始めている。

実際の都市下水には SS 成分が 200 mg/L 程度含まれていることが知られているが、SS 成分が嫌気性膜分離法においてどのような挙動を示すかは十分に明らかになっていない。SS 成分の蓄積は処理システムに悪影響を及ぼす可能性がある。そこで本研究は、SS 成分含む人工都市下水を用いて浸漬型嫌気性 MBR (Submerged Anaerobic Membrane Bioreactor: SAMBR) による連続処理実験を行い、段階的に水理学的滞留時間 (HRT) を変化させることで、処理性能及び汚泥性状、膜性能に関する基礎的知見を収集し、SS 成分の与える HRT の影響を調査した。

2. 実験条件

2.1 実験装置及び実験条件

実験装置は有効容積 6 L の SAMBR であり、反応槽内に平膜 (Kubota, 塩素化ポリエチレン, 0.116 m², 0.2 µm) を 1 枚設置した。反応槽内気相部のバイオガスをエアポンプによって循環させ、反応装置下部の散気管から 5 L/min で散気させた。散気により反応槽内の攪拌を行うとともに、膜の物理的な洗浄の効果を持たせた。反応槽内の温度はウォータージャケットで制御し、25±2°C とした。植種汚泥は下水処理場の中温消化汚泥と食品工場排水処理汚泥を用いた。投入人工下水は都市下水がモデルであり、SS 成分としてセルロースを 200 mg/L の濃度で添加した。表-1 と表-2 に使用した人工下水の組成と性状を示した。コントロールとして SS を含まずに COD 濃度が同程度である実験系を用いた。膜透過瞬間 Flux が 0.3~0.4 m/d 程度となるようにポンプを調整した。

表-1 投入人工下水組成

成分	単位	投入量
Peptone	mg/L	30
Yeast Extract	mg/L	30
Glucose	mg/L	116
Beef extract	mg/L	34
NaCl	mg/L	5
MgCl 6H ₂ O	mg/L	5
KH ₂ PO ₄	mg/L	15
KCl	mg/L	11
CH ₃ COONa	mg/L	116
Urea	mg/L	88
NaHCO ₃	mg/L	100
Cellulose	mg/L	200

表-2 投入人工下水性状

成分	単位	平均値
COD _{Cr}	mg/L	363 ± 111
C-BOD	mg/L	189 ± 43
Protein	mg/L	54 ± 12
Carbohydrate	mg/L	209 ± 52
SS	mg/L	196 ± 58
pH	-	7.6 ± 0.4

吸引時間と吸引停止時間の割合は、HRT に応じて設定した。HRT は 2 日で開始し、段階的に短縮した。

2.2 分析項目

処理水質は COD_{Cr} (以下 COD), C-BOD (以下 BOD) について測定を行い、反応槽内混合液はタンパク質、炭水化物、SS、VSS を測定した。混合液を 15,000 rpm で 20 分間遠心したものの上澄み液とした。上澄み液は COD, BOD, タンパク質、炭水化物の測定を行った。EPS は混合液を 15,000 rpm で 20 分間遠心し上澄みを捨てた残りの汚泥にリン酸バッファーと陽イオン交換樹脂を加えて室温で 2 時間攪拌することで抽出し、攪拌後に 15,000 rpm で 20 分間遠心した上澄みのタンパク質と炭水化物を分析した。膜圧計を膜と吸引ポンプの間に設置し測定した。膜透過瞬間 Flux は 4 分間での膜の透過量から算出した。

キーワード：嫌気性処理、膜分離法、都市下水、嫌気性 MBR

東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 環境保全工学研究室
Mail: takahashi@ep11.civil.tohoku.ac.jp TEL: 022-795-3584 FAX: 022-795-7465

3. 実験結果

3.1 SS 含有下水の処理性能

図-1 に流入及び処理水の COD 及び BOD と反応槽内汚泥濃度の経時変化を示した。運転開始から 10 日で COD は 20 mg/L 以下となった。HRT 1 日, 0.5 日における処理水の平均 COD 濃度はそれぞれ 22, 28 mg/L であり, 平均 BOD 濃度ではそれぞれ 8, 17 mg/L であった。COD 除去率は HRT 1 日と 0.5 日で共に 93% であり, BOD 除去率はそれぞれ 92, 91% であった。HRT の変化による除去率の影響は見られなかった。HRT が 0.25 日になると処理水の COD 濃度が 200 mg/L 以上, COD 除去率が 54% になり, 一時的に処理水質の悪化が見られた (87 日目)。連続運転を継続すると処理水質は徐々に改善され, 96 日目に COD 濃度 46 mg/L となった。今後は運転を継続して HRT 0.25 日における定常状態を目指す。

3.2 SS 成分が汚泥性状に与える影響

HRT 1 日における汚泥濃度の変化は運転開始時 (12 日目) の 3.9 g/L から, 44 日目に 3.8 g/L となりほとんど変化は見られなかった。HRT 0.5 日の連続運転後, 82 日目に汚泥濃度は 6.1 g/L まで増加した。HRT 0.25 日の連続運転後の 96 日目において, 汚泥濃度は 6.1 g/L と変化が見られなかった。

図-2 に反応槽内混合液における MLVSS あたりのタンパク質量と炭水化物量について, 本実験系 (基質に SS を含む) とコントロール系 (基質に SS を含まない) の比較結果を示す。混合液におけるタンパク質量はコントロール系と比較して同程度であるのに対し, 炭水化物量は HRT 1 日, 0.5 日, 0.25 日でそれぞれ 54, 57, 101% 大きかった。炭水化物量でコントロールの系より余剰に検出されている物質は人工下水中に添加したセルロースであると考えられる。このことから, 反応槽内に未分解のセルロースが蓄積しており, HRT が小さくなると, 蓄積量が増える可能性が示唆された。

3.3 膜性能の推移

運転開始時に 0.45 m/d であった膜透過瞬間 Flux は運転経過とともに低下し, 87 日目に 0.3 m/d となった。以降は膜透過瞬間 Flux が 0.3 m/d を維持するようにポンプの回転数を設定した。HRT 1 日及び 0.5 日において膜吸引時の最大膜圧は 4.7~6.3 kPa, 非吸引時の最小膜圧は 2.7~4.9 kPa で推移し大きな変化は見られなかった。一方で, HRT 0.25 日になると吸引時の最大膜圧が上昇した。これは HRT が短縮されたことによる 2 つの影響が考えられる。1 つは微生物による生物的分解に対して過負荷となり COD 成分が十分に除去されず, 膜による物理的除去の割合が増加したことが考えられる。これにより膜の汚染が進行し, 吸引時の膜圧が増加した可能性がある。次に膜の稼働率が大きくなったことが考えられる。HRT 1 日, 0.5 日において, 膜の稼働率 (吸引時間/吸引時間と停止時間の和) はそれぞれ 0.17, 0.33 あったのに対し, HRT 0.25 日では 0.67 であり, 膜の停止時間が十分でなかった可能性が考えられる。

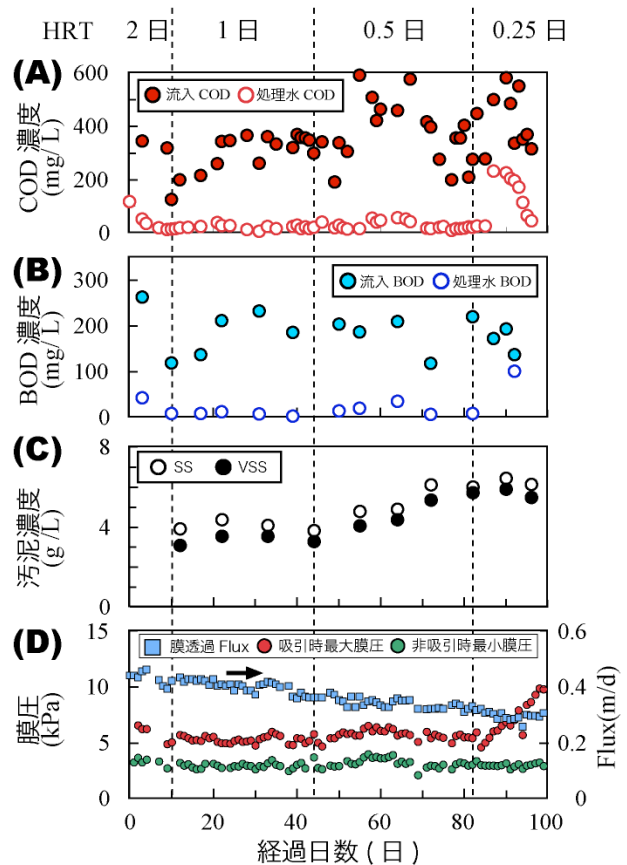


図-1 処理性能の経時変化

(A) COD, (B) BOD, (C) 汚泥濃度, (D) 膜圧及び Flux

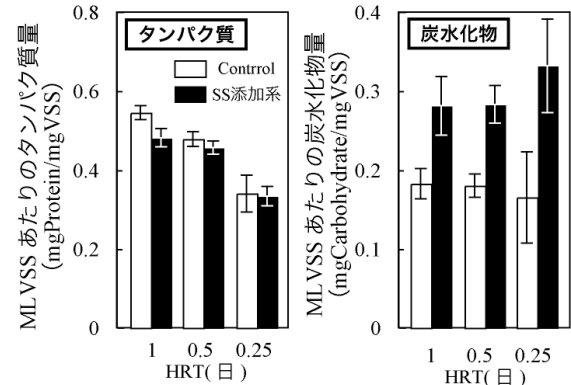


図-2 MLVSS あたりのタンパク質量および炭水化物量

4. まとめ

本研究ではラボスケールの SAMBR による人工下水の連続処理実験を行い, 以下の知見が得られた。

- 1) HRT 1, 0.5 日で連続運転を行い, 平均処理水質はどちらも 30 mg/L 以下, 除去率 93% であった。HRT 0.25 日では一時的な性能の悪化が見られた。
- 2) MLVSS あたりの炭水化物量の比較から, 反応槽内混合液中に未分解の SS 成分の蓄積が示唆された。また HRT の短縮によって蓄積量が増加する可能性が示唆された。
- 3) HRT 1 日, 0.5 日において, 膜透過瞬間 Flux が徐々に低下し, 約 3 ヶ月に初期設定の 68% まで低下したものの, 吸引時の最大膜圧と非吸引時の最小膜圧に大きな変化は見られなかった。一方で HRT 0.25 日になると吸引時の最大膜圧が増加した。