

凝集剤添加型嫌気性 MBR による下水の高度処理

東北大・工 ○ (学) 菅生俊樹, 渡邊亮哉, 砂庭崇之, (正) 李玉友, 株式会社クボタ 若原慎一郎

1. はじめに

近年, 地球環境の悪化から下水処理においても低炭素・省エネルギー型の処理法が求められるようになってきた。そこで本研究では, 省スペース創エネルギー型である嫌気性膜分離法による下水処理に, 富栄養化に多大な影響を与えるリンの除去も組み合わせ, 実験室規模の研究を行った。リン除去においては凝集剤である塩化第二鉄 (FeCl_3) を浸漬型の嫌気性 MBR に投入して, 1 槽で処理が行えるコンパクトな形とした。この実験装置により長期間の連続実験を行い, 凝集剤添加が処理水質, 膜ファウリング, メタンガスの生成量等にどのような影響を与えるのかについて, 添加前と比較することにより評価を行った。

2. 実験方法

2.1 実験装置

本研究で用いた浸漬型嫌気性 MBR を図 1 に示す。有効容積 6 L で, 内部に分離膜を 1 枚設置した。膜材質は塩素化ポリエチレン, 膜総表面積は 0.116 m^2 で膜の公称孔径は $0.2 \mu\text{m}$ である Kubota 平膜を用いた。流入と流出には蠕動ポンプ (Masterflex, model 7518-10) を使用し, タイマー制御によって HRT (水理学的滞留時間) の調整を行った。発生したガスは, 散気装置で反応槽下部より散気させることによって, 反応槽内の攪拌と膜の物理的な洗浄の効果を持たせた。ガスはガスホルダーにて収集し, 毎日ガス生成量を測定した。反応槽外周部のウォータージャケットによって反応槽内の温度を 25°C に設定した。また凝集剤には塩化第二鉄 (FeCl_3) を用いた。

2.2 実験条件

人工下水性状を表 1 に示す。基質は人工下水を用い, COD_{cr} が 500 mg/L 付近になるように調整した。まず, 凝集剤なしで $\text{HRT}24 \text{ h} \rightarrow \text{HRT}12 \text{ h} \rightarrow \text{HRT}8 \text{ h}$ と短縮させて実験を行い, 処理性能を評価した。その後 $\text{HRT}8 \text{ h}$ で凝集剤を添加しリンの除去について実験を行った。膜透過水に FeCl_3 の濃度を変えて凝集テストを行い, $0.45 \mu\text{m}$ のフィルターを透過させた後, リンの濃度を測定した。投入は, 基質投入に合わせてポンプを用いて行った。

2.3 分析方法

流入水, 膜透過水は化学的酸素要求量 (COD), 生物化学的酸素要求量 (BOD), 全リン (T-P), 全窒素 (T-N) を定期的に分析した。反応槽内混合液は SS, 揮発性浮遊物質 (VSS) について分析を行った。COD は APHA Standard Method に準じて測定した。BOD, SS, VSS, T-P, T-N は下水試験法に従って測定を行った。

水質分析に加えてバイオガス組成 (N_2 , CH_4 , CO_2) の測定を行い, 測定には TCD ガスクロマトグラフ (Shimadzu, GC-8A) を使用した。膜圧は圧力センサ (Keyence, AP-V85) を吸引ポンプと膜の間に設置することでモニタリングし, 定期的に記録した。

3. 実験結果および考察

図 2 に凝集剤無しの場合の (a)COD, (b)BOD, (c)T-P, (d)T-N, (e)槽内汚泥量の経時変化を示す。また表 2 には, 各 HRT での COD, BOD, T-P, T-N の除去率をまとめた。HRT を段階的に短縮しても COD 除去率, BOD 除去率は 95% 以上と高く良好な処理水が得られた。しかし, リンにおいてはいずれの HRT でも除去率は 10% 程度であり, 窒素もほとんど除去されなかった。また, 槽内汚泥量の図から汚泥生成量を求めると $0.063 \text{ g-VSS g-COD}_{\text{rem}}^{-1}$ となった。一般的な標準活性汚泥法における除去 COD あたりの汚泥生成量は $0.3 \sim 0.6 \text{ g-VSS g-COD}_{\text{rem}}^{-1}$ であると言われていることから, 嫌気性 MBR の汚泥生成量は活性汚泥法の 10~20% にまで減量化できることが確認された。

図 3, 4 には COD 物質収支とケーススタディを示した。物質収支を求めた結果, 流入 COD のメタン変換率は 77.4% であった。これは他の嫌気性処理と比べても高い値である。またケーススタディより, 1 万 m^3 の下水から 4197 kWh (約 420 世帯分の電力) を生み出し, 活性汚泥法と比べて汚泥発生量が少ない (活性汚泥法は 1 万 m^3 当たり 2360 kg)¹⁾ ことがわかった。

図 2 には凝集剤テストの結果を示した。リン酸態リンに対する鉄の投入量 (モル比) を変えて行うことによ

図 1 実験装置概略図

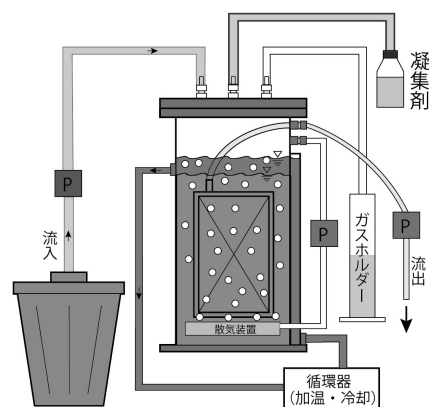


表 1 人工下水性状 投入前に,

本実験での流入人工下水の性状		
COD	mg/L	499 ± 94
BOD	mg/L	334 ± 78
T-P	mg/L	4.54 ± 0.7
T-N	mg/L	49.2 ± 5.3
pH	-	7.2 ± 0.2

て、リンがモル比に比例して除去されていくことがわかった。リン酸態リン 1 mol に対して鉄 1 mol を投入する（モル比 1）ことによって、全リンが約 60 % 除去されることがわかった。また、全国の高度処理施設の放流水の平均全リン濃度が約 1 mg/L であることから¹⁾、1 mg/L を下回るモル比をみると、約 1.5 であった。この結果に基づき、連続実験ではモル比 1 から添加して FeCl₃ 添加型嫌気性膜分離反応槽を運転し、その処理性能を確認している。その結果モル比 1 では流出水のリン濃度を 1 mg/L 以下にすることはできなかった。現在モル比を上げて実験中である。

表 2 凝集剤無しの条件での各 HRT の処理性能

HRT	24h	12h	8h
COD除去(%)	96.8	96.8	97
BOD除去(%)	96.9	96.8	95.3
全リン除去(%)	7.8	11.6	10.3

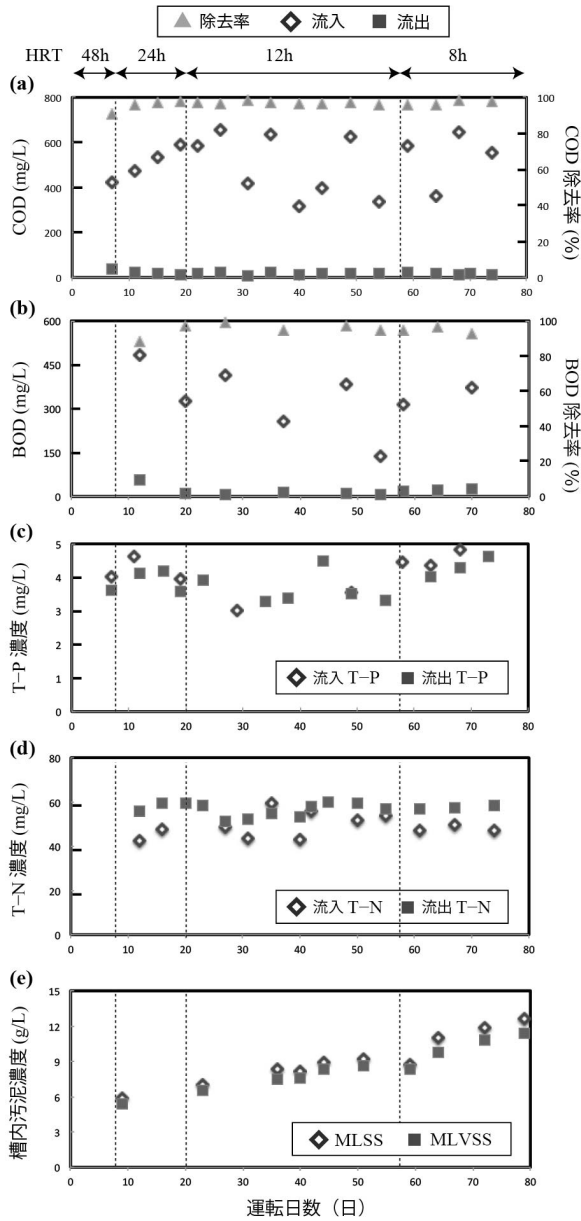


図 2 凝集剤無しの条件での(a)COD, (b)BOD (c)T-P, (d)T-N, (e)槽内汚泥量の経時変化

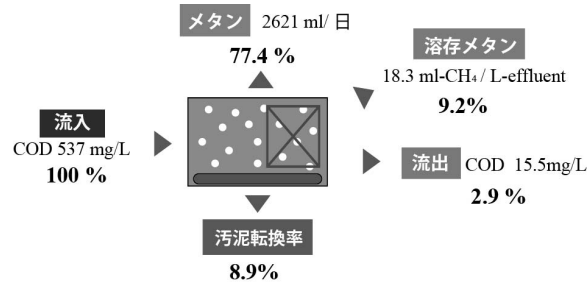


図 3 凝集剤無しの条件での HRT8 h での COD 物質収支

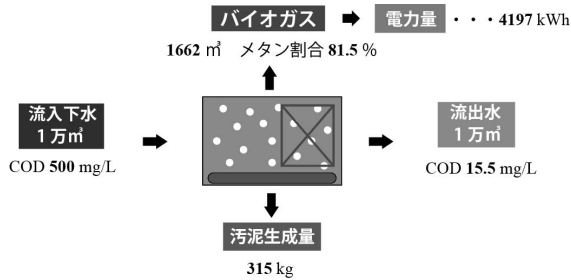


図 4 凝集剤無しの条件でのケーススタディ

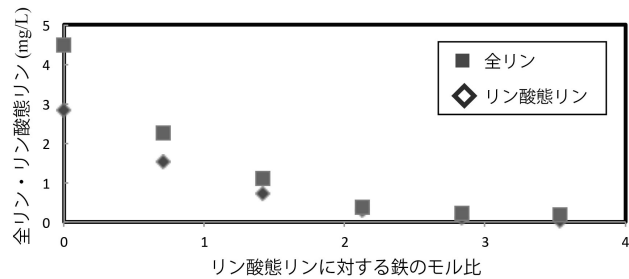


図 5 膜透過水に対する凝集テスト結果

2. まとめ

(1) 凝集剤無しの条件では HRT 8-24 h の範囲で COD, BOD の除去率は 95% 以上と高かったが、リンの除去率は 10% 程度と低かった。HRT 8 h の汚泥生成量を求めると 0.063 g-VSS g-COD_{rem}⁻¹ であり、COD 物質収支とケーススタディから従来の処理法の汚泥生成量よりも少なく、その分効率的にバイオガスへと変換できていることがわかった。

(2) 膜透過水に FeCl₃ を添加して凝集テストを行った結果、リン酸態リンに対する鉄のモル比に除去率は比例し、1 mg/L 以下までリンの濃度を下げるにはモル比 1.5 の鉄が必要であることがわかった。

(3) 凝集剤添加型嫌気性膜分離法の連続実験では、モル比 1 ではリン除去に関して大きな変化は見られなかった。現在はモル比を段階的に上げて実験中である。

<参考文献>

1) 米本剛史, 李玉友: 下水処理におけるエネルギー消費に及ぼす処理方式および処理規模の影響に関する統計分析, 下水道協会誌, 45 (549) pp84 (2008)