

下水処理 UASB 後段の DHS における処理特性および保持汚泥特性の評価

水圏土壌環境制御研究室 松永健吾

指導教員：山口隆司 准教授

1. はじめに

本研究グループでは数年来、新規の UASB 後段処理技術であるスポンジ担体型散水ろ床法 (DHS) の実用化を目指して開発を進めてきた。しかし、未だ最適なスポンジ担体の形状やリアクター設計条件の確立に至っていない。本研究ではスケールアップ性に優れた G3 タイプの担体に着目し、担体充填率を改良した新規のスポンジ担体 G3.2 を使用した。この新規担体の適用性を評価するため連続処理実験による処理性能評価を行った。また DHS の設計指針の確立のため最適容積、最適 HRT の検討を行った。また UASB+DHS のみでは最終処理水の放流基準を満たせないことが懸念されたため、放流基準を満たすための後段処理についても検討を行った。

さらに本実験では DHS における余剰汚泥発生の高い抑制能力に着目した。近年、下水処理に伴って発生する余剰汚泥量は増加しており、余剰汚泥の処分コストの増大や埋立地の逼迫が懸念されている。そのため、余剰汚泥発生を抑制を目的とした生物処理法の開発が注目されているが、これらの処理方法は温度、pH、および汚泥管理が必要となる。他方、UASB の後段処理技術である DHS は、余剰汚泥の発生量が極めて低いことを実証している。DHS の運転は散水のみで、特殊な運転管理を行っていないにもかかわらず余剰汚泥が少ないことは興味深い点である。DHS において、何故余剰汚泥の発生が少ないかを検証することは、好気性生物処理における余剰汚泥の抑制のための有用な知見となると考えられた。そこで本研究では、余剰汚泥の発生が少ない要因を DHS の保持汚泥特性から検証した。

2. 実験装置および方法実験方法

図-1 は本実験装置の概要図を示す。DHS の微生物保持担体は、33 mm 立方体のスポンジをプラスチックネットリング ($\phi 33 \text{ mm} \times 33 \text{ mm}$) に挿入したものとした。DHS はスポンジ担体をランダムに充填した Box を 10 個積み上げた構造とした。スポンジ総容積は 454 L、スポンジ充填率は 53% とした。DHS 下部に 32.5 L の沈殿槽を設け、沈殿槽から引き抜いた汚泥を余剰汚泥と定義した。DHS には実下水処理に適用した UASB の処理水を供給した。DHS の HRT は 3.2 時間とした。なお本実験装置は外気温条件 (10~28°C) で運転した。

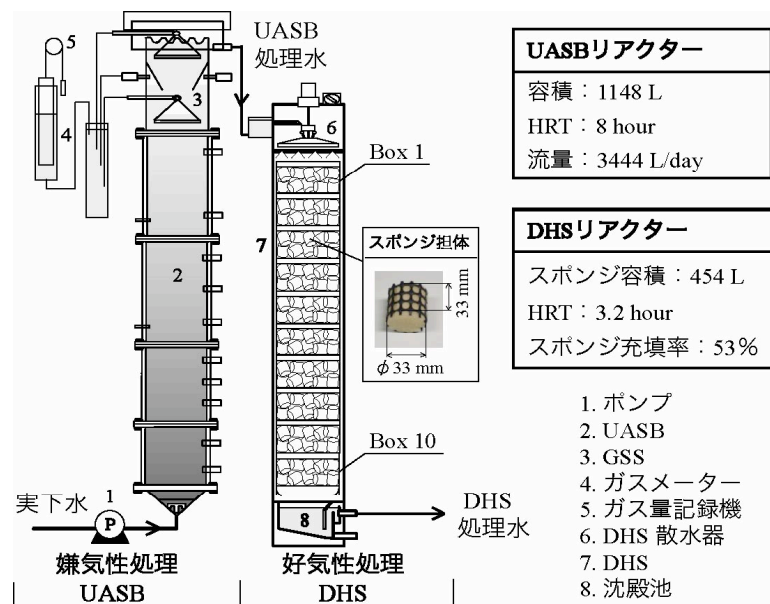


図-1 実験装置の概要図

3. 実験結果

3.1 処理性能評価および DHS 設計指針の検討

(1) 処理性能評価

本実験条件において UASB+DHS を外気温で運転したところ、最終処理水質は BOD=9 (±7) mg/L、COD_{Cr}-total=34 (±17) mg/L、TKN=3 (±3) mg/L と、高い処理性能を示した。このため、水温 10~28℃の条件下では安定した処理を維持できるといえる。

(2) 最適容積負荷の検討

図-2 は DHS における容積負荷と除去率の相関を示す。DHS 処理水温 15~26℃において、DHS の安定かつ高い COD 除去性能を期待する場合、最適な容積負荷は 1.0~1.5 kg-COD/m³-sponge/day 以下と考えられた。また DHS の安定した窒素態除去性能を期待する場合、最適な容積負荷は 0.3~0.4 kg-N/m³-sponge/day と考えられた。以上のように容積負荷から除去率の予測が可能となった。

(3) 最適 HRT の検討

図-3 は DHS における HRT と除去率の相関を示す。DHS 処理水温 15~26℃において、DHS の安定かつ高い COD および窒素態除去性能を期待する場合、最適 HRT は 2 時間以上であると考えられた。以上のように、HRT から除去率の予測が可能となった。

(4) DHS 後段処理の検討

本実験では DHS リアクターの硝化反応により、最終処理水中には硝酸性窒素が 10~25 mg-N/L 残留し、また pH は最大で 3.5 まで低下した。このため、硝酸性窒素の除去と pH の中性化のため

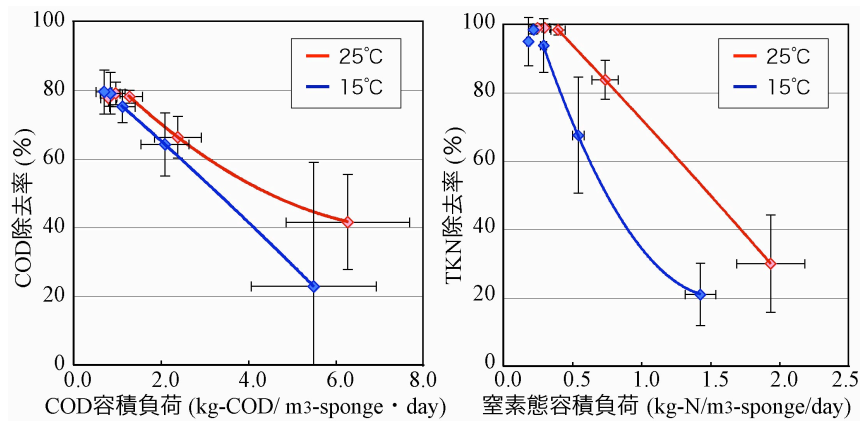


図-2 DHS における容積負荷と除去率の相関

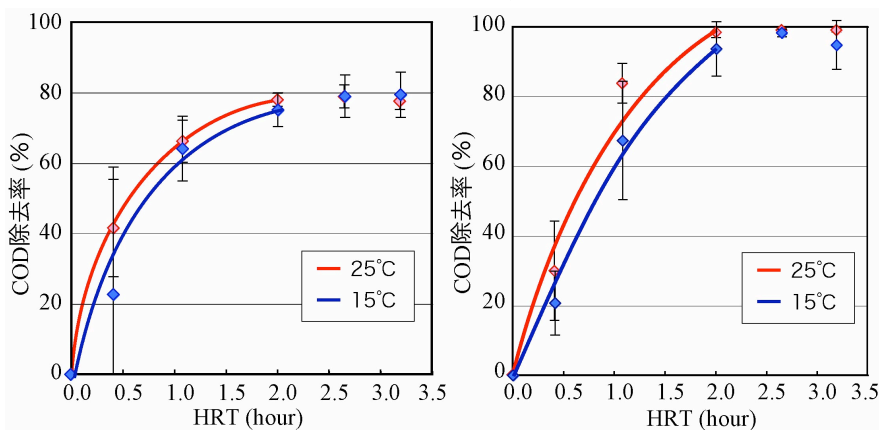


図-3 DHS における HRT と除去率の相関

め、有機物添加による脱窒反応槽を DHS 後段に設けた。脱窒槽 HRT2 時間のとき、運転 14 日で NO₃ 除去率 74%に達した。脱窒槽 HRT1 時間のときは、水温 16°C以下ということもあり NO₃ 除去率は 20%であった。

3.2 余剰汚泥抑制要因の検討

(1) DHS の汚泥転換率

図-4 は DHS の汚泥転換率（温度との相関）を示す。DHS リアクターの汚泥転換率は保持汚泥濃度定常後の年間平均で 0.30 g-SS/g-COD_{removed} (0.25 g-VSS/g-BOD_{removed}) であった。水温が 25°C 以上に達する夏期においては、DHS 保持汚泥定常後においても汚泥転換率は 0.01 g-SS/g-COD_{removed} 以下を示しており、高い有機物除去能かつ汚泥の流出がほとんどないといった生物処理として理想的な状況を実現していた。また、冬期（水温 15°C以下）においても DHS の汚泥転換率は、平均 0.32 g-SS/g-COD_{removed} (0.30 g-VSS/g-BOD_{removed})に抑えられていた。好気性微生物の汚泥収率は一般的に 0.5 といわれている。DHS の低い汚泥転換率の要因として、既往の知見より、有機物汚泥負荷、および汚泥の自己酸化、微小動物による汚泥の捕食効果に着目した。

(2) DHS 基軸方向の有機物汚泥負荷

図-5 は DHS 基軸方向の COD 汚泥負荷および COD 除去速度を示す。DHS リアクター基軸方向の COD 汚泥負荷は、運転 446 日以降において、リアクター最上部が 0.2 g-COD/g-VSS・day、流下長 0.4 m 以降は 0.1 g-COD/g-VSS・day 程度と、リアクター基軸方向で見ると DHS 各層の汚泥負荷は、活性汚泥法の汚泥負荷の一般値 0.2~0.4 g-BOD/g-SS・day と比較して 1/2 程度であることが明らかとなった。微生物の代謝特性より、有機物汚泥負荷からみて、DHS 保持汚泥の増殖ポテンシャルは活性汚泥より低いといえる。

(3) DHS 基軸方向の自己酸化速度

図-6はDHSの高さ方向で異なる3つのBox（1, 4, 8）から採取した保持汚泥における自己酸化速度を示す。各Boxの汚泥について温度条件別に実験を行った。DHS保持汚泥の自己酸化速度は、25°Cの条件下において、流下長0.4 mで0.18 g-O₂/g-VSS・day、流下長1.6 mで0.029 g-O₂/g-VSS・day、流下長3.2 mで0.018 g-O₂/g-VSS・dayであった。水温25°C以上において、DHS保持汚泥の自己酸化速度はCOD除去速度より高いことから、汚泥の自己酸化による減容化が期待された。一方、水温15°Cにおける自己酸化速度は、リアクター上部でも0.03 g-O₂/g-VSS・dayと、COD除去速度と比べて低い値を示した。そのため、水温が15°C以下になる冬期においては汚泥の自己酸化分解はほとんど期待できない。しかしながら、冬期におけるDHSの汚泥転換率は低く抑えられていた。この要因として、汚泥の自己酸化分解以外の要因、すなわち微生物生態系の高次生物による汚泥の捕食効果が示唆された。高次生物の至適温度は15~30°Cといわれており、低温下でも比較的活性が維持できると考えられた。

(4) 生態系高次生物（微小動物）の定量評価

図-7はDHSおよび活性汚泥に生息する微小動物群の定量結果を示す。DHS保持汚泥中の微小動物は、既往に報告にある散水ろ床法の生態系と同様に、高次の栄養レベルの生物が確認された。しかしながら、汚泥1 mg-SSあたりの個体数は活性汚泥と同程度であった。他の生物膜法である回転円盤法に出現する微小動物の汚泥1 mg中の個体数は、活性汚泥より多い。DHSは後生動物の濃度が活性汚泥と同程度であったことについて、DHSは汚泥を著しく高濃度に保持できることが挙

げられる。このため汚泥あたりに存在する微小動物量は、相対的に低くなったと考えられる。このことから、DHSにおける微小動物の捕食による汚泥の減容効果は、活性汚泥より高いが、他の生物膜法に比べて低いことが示唆された。

以上、DHSにおける余剰汚泥の抑制の抑制要因を検討した結果、DHSでは有機物汚泥負荷が低いため増殖ポテンシャルが活性汚泥より低く抑えられていること、また自己酸化活性の高い汚泥を高濃度に保持できることが、DHSにおける余剰汚泥発生の高い抑制能の主な要因であると考えられた。

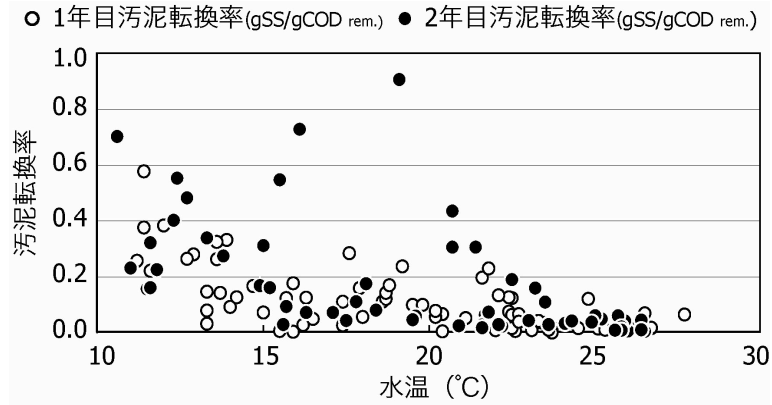


図-4 DHSの汚泥転換率（温度との相関）

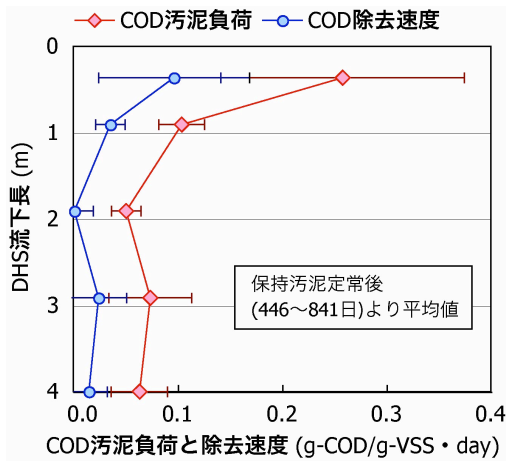


図-5 DHS基軸方向におけるCOD汚泥負荷およびCOD除去速度

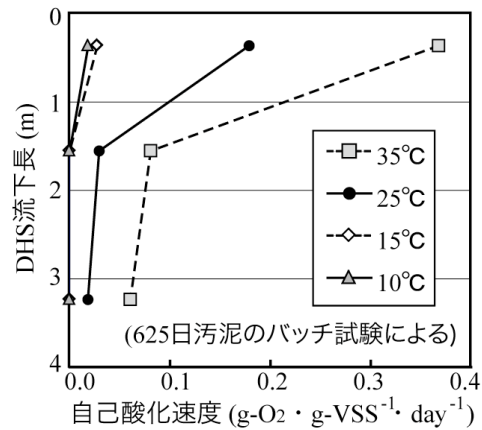


図-6 DHS基軸方向における汚泥の自己酸化速度

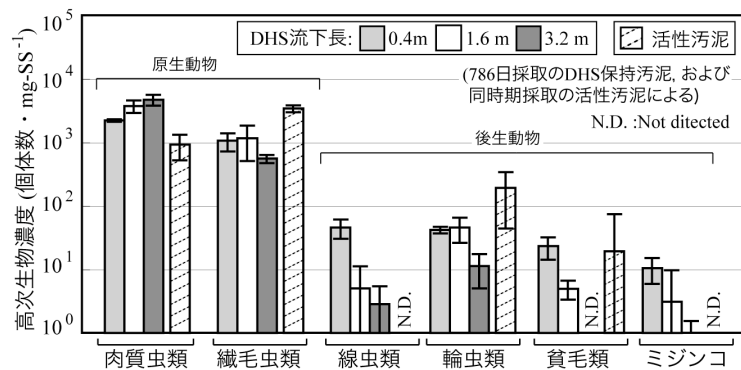


図-7 DHSおよび活性汚泥における微小動物個体数