

〈研究発表〉

A ステージによる下水からのエネルギー回収最適化を目的とした 運転制御条件の検討

松田 祐毅¹⁾, Lai Minh Quan¹⁾, 酒井 孝輔¹⁾, 中田 昌幸¹⁾, 三溝 正孝¹⁾
福崎 康博¹⁾, 細田 菜摘²⁾, 森本 隆夫²⁾, 梶本 力²⁾

¹⁾ 株明電舎 社会インフラ事業企画本部ソリューション企画部
(〒141-6029 東京都品川区大崎 2-1-1 ThinkPark Tower 28F E-mail: matsuda-yuk@mb.meidensha.co.jp)

²⁾ 神戸市 建設局 下水道部 計画課
(〒651-0084 神戸市中央区磯辺通 3-1-7 コンコルディア神戸 3F)

概要

生物吸着効果を用いる A ステージは、従来の最初沈殿池と比べ有機物除去率が高く、バイオマス回収能力に優れた処理技術である。欧州では本技術を実施に導入し、消化ガスを増量することでエネルギー回収率を向上させた事例がある。当研究グループでは、本技術を用いて国内下水処理場においてパイロット試験を行い消化ガス発生量が増加することを確認したが、運転条件による回収効果の最適化が課題であった。そこで、溶存酸素、汚泥滞留時間をパラメータとして、有機物の生汚泥への転換率を最適化させる条件について検討したので報告する。

キーワード：最初沈殿池、バイオソープション、A ステージ、エネルギー回収

原稿受付 2020.7.10

EICA: 25(2・3) 130-132

1. 背景

下水処理において一般的に好氣的生物処理は、下水から有機物等を除去し下水排除基準を満たすために必要であるが、流入下水中の有機物を曝気により分解し無機化するため、曝気動力という膨大なエネルギーを消費することで処理している。下水汚泥はバイオマスとしてエネルギー回収可能な資源であり、処理方法の見直しが望まれる。そこで、エネルギー回収を促進する技術の一つとして、Böhnke (1978)¹⁾ によって開発された A ステージと呼ばれている高負荷活性汚泥法がある。最初沈殿池では沈殿固形物のみが除去されていたが、この処理法では下水中の溶存態の有機物を除去できることが特徴である。短い滞留時間 (HRT) と、短い汚泥滞留時間 (SRT) および低い溶存酸素 (DO) により制御され、これらの条件下で運転することにより、流入下水中に存在する細菌類によるバイオソープション反応を活用しつつ、曝気による活性汚泥中の有機物の加水分解を運転方法で制限することで有機物の酸化を最小限に抑制することができる。そして、下水中の有機物を生汚泥により多く転換させることによって、消化槽で消化ガス発生量を増大させ、ガス発電によりエネルギー回収を増大させることが可能となる。

本研究では、下水からのエネルギー回収を最適化することを目的として A ステージの運転制御条件につ

いて検討し、SRT や DO によるパラメータ試験を行い、高い COD 除去率と、汚泥 COD 転換率の最大化を達成できる条件について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 パイロット装置

A ステージパイロット装置の処理フロー図を Fig. 1 に示す。流入下水は某下水処理場の分水槽から水中ポンプにより取水し、装置保護のため 1 mm のスクリーンにより夾雑物を除去してから定量ポンプで送水し実験に供した。A ステージとしては、HRT を 30 分と短く設定した高負荷曝気槽 (以後、曝気槽と呼ぶ) の後に、沈殿時間 1.5 時間の固液分離用の中間沈殿槽 (以後、沈殿槽と呼ぶ) を配置した。各 HRT は不変とした。反応槽の容積は 500 L、水深 2.7 m とし、槽内に粗大気泡による攪拌を設けた。沈殿槽は掻寄機を備えた 1500 L の円筒型沈殿槽で、面積負荷は 25 m³/(m²・d) とした。沈殿槽からの返送汚泥は返送率を 30% とし、生汚泥引扱は目標 SRT に合わせて引扱量を調節した。曝気槽への空気供給は、曝気槽の底部に取り付けられた微細気泡高効率散気板により行った。曝気槽の DO は光学式オンラインセンサにより測定し、DO 制御により槽内 DO が一定となるよう曝気を制御した。実験モードに応じて DO を 0.25~1.25 mg/L で設定し、DO が設定値より高くなりすぎ場合

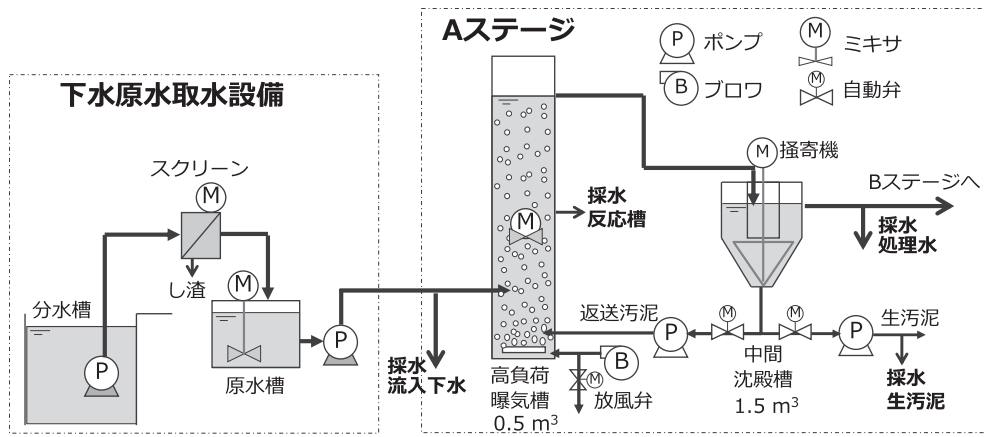


Fig. 1 Schematic process flow of A-stage pilot equipment

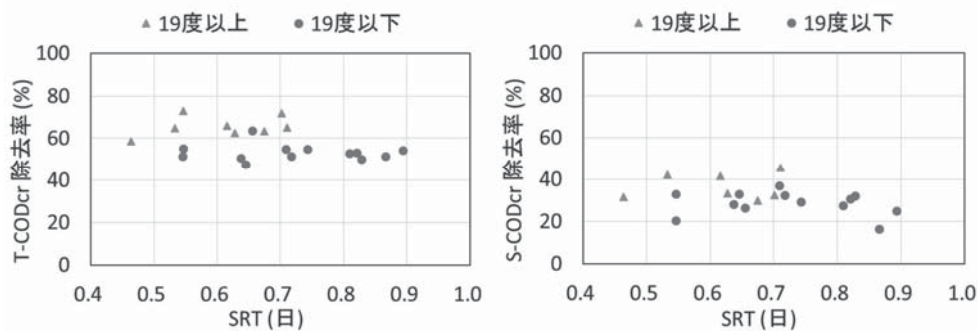


Fig. 2 Impact of SRT and temperature on COD_{Cr} removal

は曝気を停止し、粗大気泡による攪拌を行い、DOが設定範囲内に復帰した後に曝気を再開する上下限設定を設けた。そのため、曝気槽は流入負荷に応じて負荷の高いときは連続曝気となるが、負荷が低いときは間欠的な曝気となった。

2.2 試料採取及び分析方法

水質は、流入下水と沈殿槽後の処理水についてオートサンプラを用いて24時間コンポジットサンプルを採取し全CODであるT-COD_{Cr}と5C種ろ紙でろ過したろ液CODであるS-COD_{Cr}の分析を行い除去率で評価した。生汚泥も同様にコンポジットサンプルとして評価し、生汚泥に転換された全CODを評価した。流入T-COD_{Cr}が、生汚泥、処理水、曝気槽で無機化された各COD_{Cr}の和に等しいとして、COD_{Cr}収支によって各値を決定した。生汚泥に転換されたCOD_{Cr}の比率を生汚泥COD_{Cr}転換率、曝気槽で無機化されたCOD_{Cr}の比率を無機化率とそれぞれ呼ぶ。無機化率は次式で定義する。

$$\begin{aligned} & \text{無機化率(\%)} \\ & = \{(\text{流入 T-COD}_{Cr} - \text{流出 T-COD}_{Cr}) \times \text{通水量} \\ & \quad - \text{生汚泥 T-COD}_{Cr} \times \text{引抜量}\} / (\text{流入 T-COD}_{Cr} \times \text{通水量}) \end{aligned} \quad (1)$$

3. 結果と考察

3.1 曝気槽運転結果

曝気槽の運転の結果、SRTは0.5~0.9日、MLSSは1800~2600 mg/Lとなった。曝気槽の温度は制御されておらず、周囲の気温及び流入下水の水温によって変動した。実験期間中の流入下水のT-COD_{Cr}の平均値(±標準偏差)は342±48 mg/Lであった。

3.2 COD_{Cr}除去に対する水温とSRTの影響

COD_{Cr}除去率におけるSRTと水温の影響をFig. 2に示す。Fig. 2に示すとおり水温については、T-COD_{Cr}除去率は水温19℃以下では60%以下、19℃以上では60%以上と高くなる傾向があり、実験期間中の平均では約60%であった。S-COD_{Cr}の除去率は実験期間中の平均で31%と安定的に溶存成分の除去効果が示され、水温の高い場合に除去率が高まる傾向が示された。

またFig. 2より、水温19℃以上では、T-COD_{Cr}除去率はSRTの増加と共に僅かに増加し、SRT=0.5~0.6日以上では増加しない様子が見られた。これはJimenezら(2015)²⁾の研究と一致した。Jimenezらは、SRTが増加するにつれ生物吸着能に重要な役割を果たすEPS生成が促進され、特にSRT1日未満で

は顕著であることを報告した。一方で、19℃以下の低水温では T-COD_{Cr} 除去性能に有意に影響した。SRT が増加することで T-COD_{Cr} 除去率は上昇すると予想されたが、結果は 0.9 日まで SRT を増加しても T-COD_{Cr} 除去率は向上しなかった。水温低下に伴い COD_{Cr} 除去率が低下したのは、微生物の成長速度と代謝活性の低下によるためであると考えられる³⁾。

また、過去の実験⁴⁾において SRT を長くした SRT 0.75 日の実験では、無機化率が高まる結果が得られ、生污泥への COD 転換を促進する目的から外れてしまう。一方 SRT を 0.25 日と短くした実験では污泥引抜量を増やした結果、生污泥 TS 濃度が低下し、污泥濃縮機への供給量が増大し設備容量の問題が発生する。以上の結果から、高い COD 除去率を達成し、污泥への COD 転換を高める観点から SRT 0.5~0.6 日が最適であると考えられる。

3.3 COD_{Cr} 除去に対する DO の影響

曝気槽の設定 DO の変化による COD_{Cr} 除去率への影響について、SRT 0.5 日一定の試験から得られた結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 より、DO の増加と共に T-COD_{Cr} 除去率が増加する様子が確認された。Jimenez ら (2015), Kinuya ら (2017)⁵⁾ は、DO の増加により污泥からの EPS 生成も増加することが報告されている。このことから、高 DO 条件下では良好な生物フロックが形成され COD_{Cr} 除去率が向上したと考えられる。但し、(1)式で定義された無機化率については、DO が 1.0 mg/L を境に増大し、T-

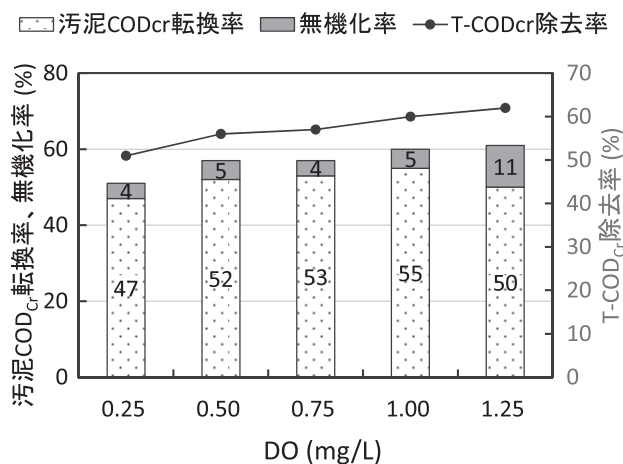


Fig. 3 Impact of DO on COD_{Cr} removal

COD_{Cr} 除去率は増大する一方で、生污泥 COD_{Cr} 転換率が減少する様子が確認された。これは、バイオソープシオン反応により污泥に転換された有機物が、DO が 1.0 mg/L 以上では無機化がより多く進み始めることを示す。従って、DO は 1.0 mg/L 以下で制御することで無機化が抑制できると考えられる。

4. 結 論

本研究では、A ステージによる溶解性有機物を含んだ高い有機物除去性能が確認された。水温については 19℃ 以上で T-COD_{Cr} 除去率 60% 程度の高い有機物除去が安定的に維持され、曝気槽の HRT は 0.5 時間、沈殿槽の沈降時間は 1.5 時間として、SRT を 0.5~0.6 日、DO を 1.0 mg/L を最大として設定することで高い T-COD_{Cr} 除去率が得られ、污泥 COD 転換率が最大化できることが示された。SRT を長くしても T-COD_{Cr} 除去率の増大にはつながらないこと、設定 DO 値が高いほど無機化による有機物の酸化が進むことが分かった。

このように、SRT や DO によるパラメータ調整により COD 除去率および污泥 COD 転換率が最適化できることが示された。

参 考 文 献

- 1) ドイツ特許, B. Böhnke, DE2803759 (1978)
- 2) J. Jimenez, M. Miller, C. Bott, S. Murthy, H. D. Clippeleir and B. Wett: High-rate activated sludge system for carbon management — Evaluation of crucial process mechanisms and design parameters, Water Research, Vol. 87, No. 15, pp. 476–482 (2015)
- 3) C. P. L. Grady Jr, G. T. Daigger, N. G. Love and C. D. M. Filipe: Biological Wastewater Treatment. CRC Press, Boca Raton, FL, 2011
- 4) Lai Minh Quan, 酒井孝輔, 中田昌幸, 福崎康博, 細田菜摘, 岡野内晃代, 梶本 力: A ステージによる有機物除去の運転制御条件によるエネルギー回収最適化の検討, 第 57 回下水道研究発表会講演要項集, 2020
- 5) M. N. Kinuya, M. Elliott, B. Wett, S. Murthy, K. Chandran and C. B. Bott: The role of extracellular polymeric substances on carbon capture in a high rate activated sludge A-stage system, Chemical Engineering Journal, Vol. 322, No. 15, pp. 428–434 (2017)