

補足資料

提案名：ローテク下水処理システムで資源をフル活用！

学校名：呉工業高等専門学校

チーム名：Kure SWGT

1. 本提案の概要

本提案では、現状の下水処理システムを図1の様に想定し、どの様に改良をおこなうかを説明していく。改良のポイントとしては、①現有施設の有効活用、②省エネルギー化、③資源回収の3点とする。

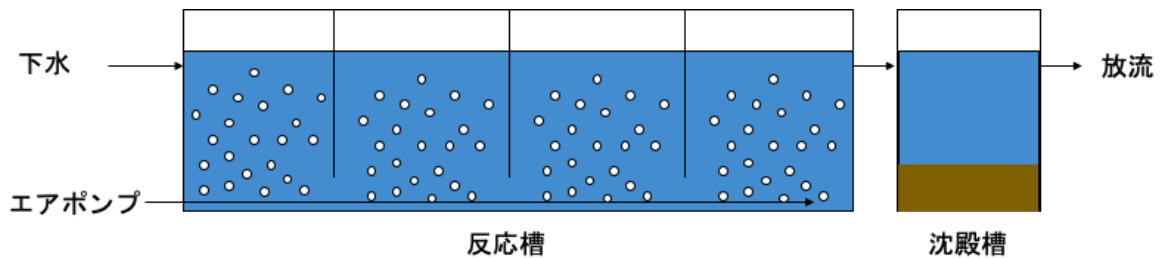


図1 現状の下水処理システム

まず、現有施設におけるエネルギー消費の大部分は曝気動力であることから、曝気動力の削減をおこなう。そこで、反応槽の半分の曝気を停止し、蓋をして密閉することで嫌気槽に変更する(図2)。この際、反応槽内の汚泥と余剰汚泥を嫌気槽の種汚泥として用いる。実際に更新する際には、嫌気性微生物の立ち上げ時間が必要になることから、段階的に嫌気槽に切り替えていく。嫌気槽から出たメタンを回収するため、嫌気槽の水位を少し高くして、好気槽への入り口を水中に設置する。これにより、曝気動力を半分に削減すると同時に、エネルギーとしてメタンの回収が可能となる。嫌気槽では、下水中有機物の70%以上の除去率達成を目標値とする。嫌気槽では攪拌をおこなわないことで、固形分は沈めてゆっくり分解させ、汚泥と下水の接触効率を高めるために下降流と上向流を繰り返す様な構造とする。

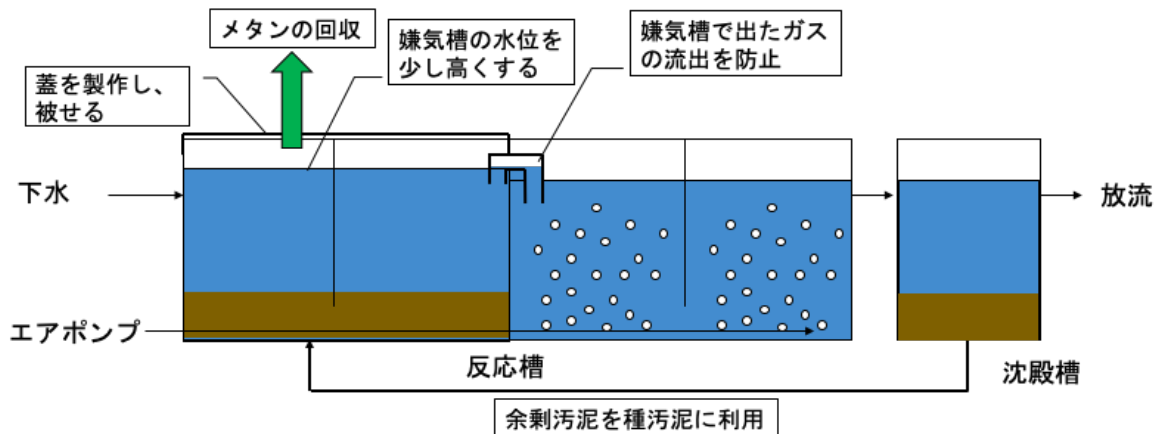


図2 反応槽の1部を嫌気性に改良

嫌気槽で有機物の大部分が除去されるため、後ろの好気槽で必要な酸素量が大幅に削減されることになる。好気槽内の溶存酸素濃度 (Dissolved Oxygen: DO) の状況を見つつ、エアポンプによる曝気量を徐々に減らしながら運転をおこなう。この過程で、下水中の窒素・リンを使って藻類が好気槽内に自然発生することを想定している (図3)。藻類によって光合成による酸素供給と栄養塩の除去がおこなわれるため、ここで下水中から汚濁物質が除去された形となる。エアポンプによる曝気は、光合成がおこなわれない夜間等、DOの維持に必要な時にのみ運転する形を取る。

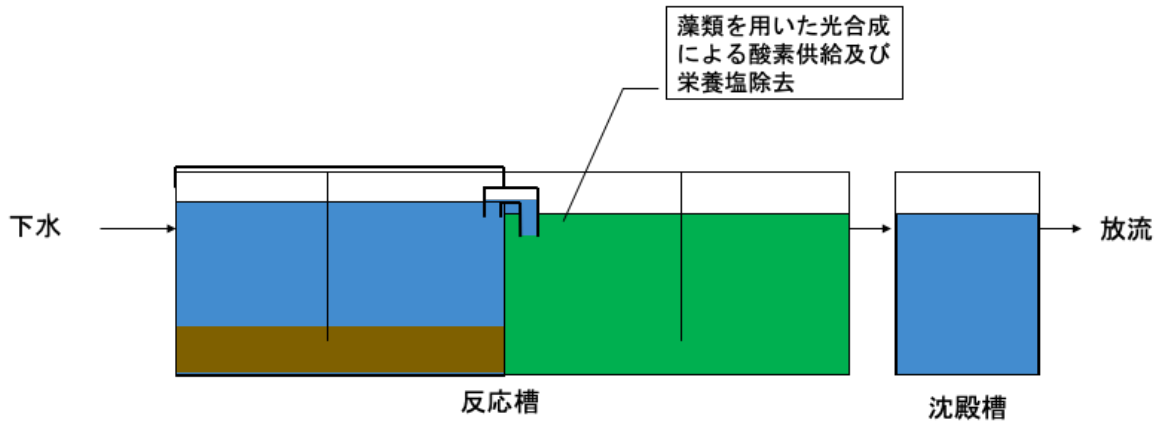


図3 藻類による栄養塩除去

好気槽で発生した藻類については、2つの取り扱い方法を考えた。1つ目は、沈殿槽を砂ろ過槽に改良し、藻類を取り除く方法である。通常の砂ろ過と同様に、徐々に表層に藻類が詰まっていくことが想定されるので、定期的に表層を入れ替えて対応する。ここでろ材に詰まるものは、栄養を豊富に含んだ藻類であるため、ろ材に畑などで利用可能な土壌を用いることで、取り除いたろ材をそのまま畑用の土壌としての利用が可能となる。

2つ目は、藻類ごと環境中に放流する方法である。富栄養化の原因物質である窒素・リンは既に藻類という形に変換されているため、この藻類が流入することで富栄養化が発生することはないと考えた。また、放流先の生物の餌となる植物プランクトンや藻類が流入することで、水産資源の回復にも繋がることが考えられる。

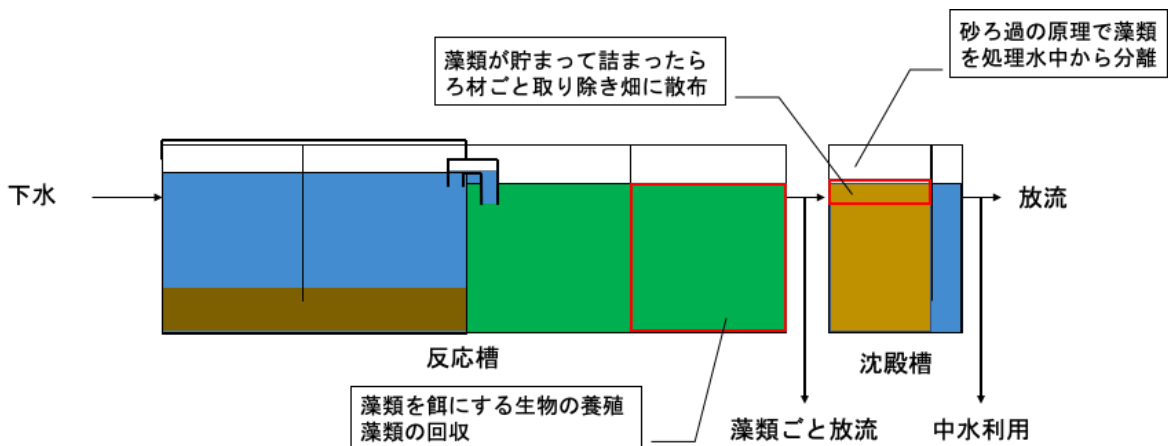


図4 沈殿槽を利用した砂ろ過

2つの方法は状況に応じて組み合わせて実施すると良いと考えている。また、発生する藻類の種類や、水質に与える影響にもよるが、藻類自体を資源として回収することや、反応槽の最後で藻類を餌にする二枚貝等、その地域の特産物の養殖も選択肢の1つとして検討している。砂ろ過後の水の一部は、下水処理場内で中水として利用することも想定している。

エネルギー回収という観点から、下水処理の過程で発生する水の流れの有効利用も検討を開始している。具体的には、下水処理水の放流箇所に水車やししおどしを設置し、そこで発生した運動エネルギーを発電することで、下水処理の動力に利用する。この点に関しては、今回の提案メンバーである環境都市工学科では知識が不足しているため、今後、他学科の学生や教員からアドバイスをもらいながら、どの様な形で使えるかを提案していきたい。

2. 提案システムと現状の下水処理システムとの違い

今回提案するシステムと、現在の下水処理システムとの違いは以下の通りである。

(1) 有機物除去

現状のシステム：下水は好気性処理。その後、好気性処理の過程で発生した（エネルギーを消費して生産された）余剰汚泥を嫌気性消化してメタンを回収。

提案システム：下水を直接嫌気性処理することでメタンを回収。

→ 処理エネルギーの大幅削減。最小限の処理施設を利用。

(2) 窒素・リン除去

現状のシステム：高度処理を利用。窒素は窒素ガスへ。リンは汚泥か凝集等で回収。

提案システム：藻類に転換。藻類は農業や漁業に活用。

→ 処理コストの大幅削減。自然界の物質循環や食物連鎖を応用。

提案システムの特徴として、ローテクノロジーと自然界の自浄作用をうまく活用することで、処理を単純化し、必要なエネルギーやコストを削減していることが挙げられる。ここは、以前授業で習った、発展途上国で用いられているラグーン法からヒントを得ている。また、現状の施設を改良する形の提案となっているため、日本国内だけでなく発展途上国でもこの技術は運用可能だと考えている。

3. 提案システムを想定した実験装置による排水処理実験

写真1に示す実験装置を用いて、連続実験を実施している。装置は、嫌気性バッフル反応器（Anaerobic Baffled Reactor: ABR）、水槽、砂ろ過槽により構成されており、太陽光パネルと蓄電池を電源とし、送液ポンプ1台で運転を実施している。1日の実稼働時間は8~12時間であり、各槽の水理学的滞留時間（Hydraulic Retention Time: HRT）はそれぞれ、1.5日、13.0日、5.0日となっている。電源に太陽光パネルを用いた理由は、水槽内の藻類による光合成がおこなわれる時間帯に排水処理をおこなうことで、無曝気でもDOを確保することを目的としている。排水には、学校内で発生したカップ麺の廃棄スー

プを収集し、約 100 倍に希釈したものを用いた。ABR の種汚泥には、ラボスケールの循環型養殖システム内の好気性汚泥を用い、砂ろ過槽には校内に堆積していた土壌をろ材とし、空芯菜を植えた。



写真 1 実験装置概要

実験に用いた排水の pH、生物学的酸素要求量 (Biochemical Oxygen Demand: BOD)、懸濁物質 (Suspended Solids: SS) はそれぞれ、6.13、239mg/L、156mg/L であった。連続実験の結果、ABR において BOD の 59.7% が除去されており、水槽を含むと 89.3% の除去率を達成した。水槽内には緑色の藻類が自然発生し、日中の pH は 10.6、DO は測定に用いた DO メーターの上限値である 20 mg/L 以上の過飽和状態となっていた。砂ろ過槽では、藻類を含む SS の 78.6% が除去されると共に、全無機態窒素とリン酸もそれぞれ 31.2% と 61.2% が除去されていた。写真 2 に、実験装置内で採取した水を示す。水槽内で発生した藻類のほとんどが砂ろ過槽により除去されていることが確認された。一方で、空芯菜の成長はあまり見られなかった。これは、実験に用いた排水が栄養分を多く含んでいなかったことが原因であると考えられた。以上の結果より、本システムを用いることで、排水中の有機物、SS、窒素およびリンを無曝気条件で処理可能なことが確認された。



写真 2 実験装置内で採取した水

4. 実験結果等から判明した課題と解決案

連続実験の結果から判明した1番の課題は、下水の処理時間が大幅に増加してしまうことである。実験開始から現在2ヶ月程度であるため、まだ装置の最適化が完了していないが、現状で活性汚泥法の約40倍の処理時間を有している。また、装置が小さいため、実際の下水処理場に適用した場合、藻類の発生により有光層がどの程度の範囲になるかが想定できず、現状の水槽内のpHやDOが実際にどの様に変化するかが予測できない点も挙げられる。更に、嫌気槽を導入した場合の悪臭・腐食問題や、藻類を用いることにより水質管理が複雑化することも予測される。

嫌気槽については、浮遊型の嫌気槽を新設し、下水処理水を用いた湿式脱硫を導入することで、初期・運転コスト共に低く抑えらると共に、反応槽全体を藻類を用いた好気槽として利用することで、好気槽の処理時間の延長も可能となると考えている。装置の最適化により、システム全体の処理時間を短縮すると共に、下水処理場が有している将来用地を有効活用することで、提案システムに必要な処理時間を確保できるのではないかと考えている。好気槽の運転管理については、DOやpHを均一化するために、攪拌効果を主目的とした曝気をおこなうと共に、水質管理にセンサー類を用いることを考えている。提案システムでは、水車やししおどし等を用いて、水の流れからエネルギーを回収することも想定しているため、ここで得られた電力を各種センサー類や、有光層を確保するためのLEDライト等の動力に使用できるのではないかと考えている。

5. 今後の展望

まずは、現在稼働中の実験装置を用いて連続実験を継続することで、提案システムの処理性能を最適化させる。それと同時に、現状の下水処理場の更新計画や将来用地等の情報を収集する。これらを元に、提案システム導入時の各種コストを試算し、導入効果の評価をおこないたいと考えている。また、本校のある呉市の上下水道局に本校の卒業生が複数勤務されているため、本提案について意見交換をおこない、実現可能性を探りたい。また、今回の実験結果で最大のネックとなった長い処理時間については、下水処理に対して土地の制約の少ない発展途上国の方が適用可能性が高いことも考えられるため、現地の下水処理システムについても調査し、性能面・コスト面での比較をおこないたいと考えている。