

第5回 インフラマネジメントテクノロジーコンテスト チャレンジ賞受賞

牡蠣殻で下水処理に革命を!!

呉工業高等専門学校 環境都市工学分野 谷川 大輔

1. はじめに

第5回 インフラマネジメントテクノロジーコンテスト（以下、「インフラテクコン」という）に参加し、チャレンジ賞を受賞できたことを、学生ともども、うれしく感じている。インフラテクコンへの参加は今回で4回目となるが、奨励賞、地域賞、SDGs賞に引き続き、連続受賞できたことは大変誇らしく思っている。今回のチーム名「たにけんっ!!!」とは、谷川研究室のことである。

2. 卒業研究ベースの提案に踏み出す

これまで参加したインフラテクコンでは、学生のアイデアを優先するため、卒業研究とインフラテクコンを分けて取り組んできた。一方で、自分自身の研究テーマと同時並行でコンテスト用の実験を行うことは、学生たちにとっても負担となっていた。また、他のチームにも卒業研究や専攻科の研究がベースとなっている提案があったことから、今回は卒業研究をベースに提案概要書やプレゼン資料を作成している。牡蠣殻関係の研究テーマを持つ学生たちの総力戦である。

3. 提案の概要

本提案におけるキーテクノロジーは、牡蠣殻ー下降流懸垂型スポンジ（Oyster Shell Down-flow Hanging Sponge：OS-DHS）リアクターである。筆者の出身研究室である、長岡技術科学大学の水圏土壌環境研究室では、ポリウレタンスポンジを微生物担体として充填した散水ろ床である DHS リアクターが開発され、下水処理だけでなく養殖や産業廃水処理に適用されてきた。

DHS の大きなメリットは、無曝気でありながら優れた有機物・アンモニア酸化性能を有することと、スポンジ内部に高濃度に汚泥を保持することによる余剰汚泥発生量の少なさであり、これは現状の下水処理技術である活性汚泥法の課題である、大量のエネルギー消費と余剰汚泥発生を双方をクリアしている。

一方で、DHS の課題の一つがスポンジ担体のコストの高さであった。そして、筆者の住む広島県の地域課題として、牡蠣殻の大量廃棄の問題があった。そこで、この両課題を解決するために提案したものが、牡蠣殻と DHS を融合させた OS-DHS である。

もう一つのポイントは、OS-DHS で下水処理を行う過程で、廃棄物である牡蠣殻がなくなることである。牡蠣殻は主成分が炭酸カルシウムであ

ることから、アンモニア酸化反応によるアルカリ度の消費により pH が低下した場合、牡蠣殻が溶解することでアルカリ度が供給され、pH が中性付近に維持される。また、その際に牡蠣殻に含まれるミネラル分が供給されることによって、下水処理に関わる微生物を活性化させる。これらのアルカリ度とミネラル分の供給は、牡蠣殻が溶解することによって起こる。

すなわち、下水処理をしながら地域廃棄物である牡蠣殻も処理されていくのである。溶解した牡蠣殻は海に流れ着き、そこでまた牡蠣が生産される。下水処理を起点とし、牡蠣殻を核とした資源循環の構築である。

図-1 に提案システムの概要を示す。提案システムである OS-DHS は非常にシンプルな作りとなっており、2 段式の散水ろ床の上部に牡蠣殻、下部にスポンジを微生物担体として充填している。

下水は OS-DHS 上部から供給され、自然流下

に伴って大気中の酸素が溶解していくことから、曝気不要の好気性処理システムとなっている。上部に充填した牡蠣殻は、実験開始からしばらくはそのままのものを使用し、実験後半からは充填容積を稼ぐために、破碎したものをを用いた。微生物担体の順番を牡蠣殻、スポンジとしたのは、最終的に牡蠣殻が溶解してなくなった際に、牡蠣殻表面で増殖した微生物を下段のスポンジ担体で捕捉することで、下水処理性能を維持することを狙ったためである。

今回の研究では、呉市上下水道局の協力を受け、下水処理場に流入する実下水を使用している。

4. 予想を上回る牡蠣殻の効果

図-2 に OS-DHS の化学的酸素要求量 (Chemical Oxygen Demand : COD) 除去性能を示す。OS-DHS 内において、COD の 73% が除去されてお

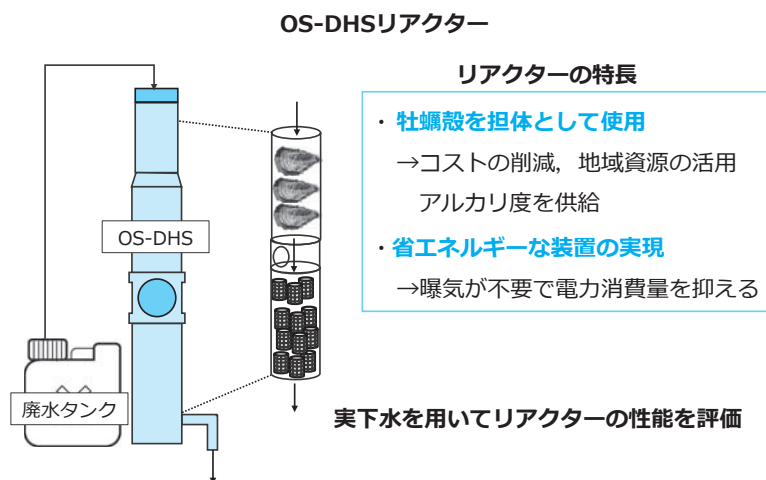
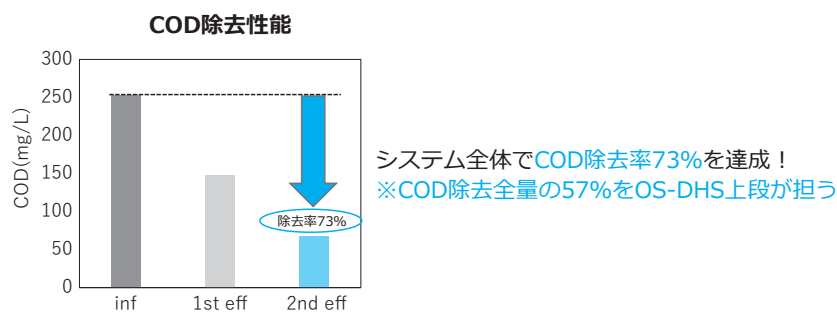


図-1 提案システムの概要



高い有機物除去性能を持つ→牡蠣殻の細孔が生物膜の形成に寄与

図-2 OS-DHS の有機物除去性能

り、COD 除去全量の 57%を牡蠣殻担体が担っていることが確認された。生物化学的酸素要求量（Biochemical Oxygen Demand：BOD）の除去率は OS-DHS で 90%以上を達成し（最終処理水濃度は 10 mg/L 以下）、こちらも牡蠣殻担体が 50%程度の除去量を担っていた。したがって、牡蠣殻担体自身も、微生物担体として有機物除去に寄与していたことが示唆された。

図-3に OS-DHS の窒素除去性能を示す。牡蠣殻担体部分において、下水に含まれるアンモニアの 41%が酸化され、亜硝酸および硝酸が生成されていることが確認された。それと同時に、カルシウムイオン濃度が2倍以上に増加していた。

この現象は、牡蠣殻表面で増殖した微生物によりアンモニア酸化が進行し、そこで消費されたアルカリ度が牡蠣殻の溶解によって速やかに供給されていたことを示している。

一般的に、アンモニア酸化を含む硝化反応を担う微生物は、有機物酸化を行う微生物と比較して増殖速度が遅いことから、硝化反応は有機物の大部分が酸化された後に進行することが通説となっている。

その結果、後段の脱窒反応時に再度有機物の添加が必要となっており、硝化反応時の pH 制御と脱窒反応時の有機物供給が窒素除去プロセスのコスト高騰の原因となっていた。一方で、提案システムである OS-DHS では、有機物がまだ残っている状況にもかかわらず牡蠣殻担体部分では硝化反応が進行している。

すなわち、牡蠣殻はアルカリ度の供給効果だけでなく、硝化菌の増殖にとって有利な特性を有していることを示唆しているのである。したがっ

て、廃水処理における窒素除去を促進する担体として牡蠣殻の利用の可能性が考えられ、これは牡蠣養殖産業で廃棄物処理のためにかかっていたコストが、収入源になり得ることを示している。地域廃棄物である牡蠣殻が、廃水処理と牡蠣養殖の双方にとっての救世主となるのである。

5. 今後の展開

提案システムに関する研究は現在も継続中であり、現状における下水処理時間は 7.8 時間と、通常の活性汚泥法と同等の処理性能を達成している。これらの結果から、OS-DHS の活用方法として二つの案を考えている。

一つ目は、現状の下水処理施設への導入である。連続実験から、OS-DHS では有機物負荷を一定以上に上げた場合、有機物除去性能を維持しながら窒素除去性能が低下する、という結果が得られている。

すなわち、最終処理水中の栄養塩濃度のみを高めることが可能となるため、下水処理場における冬季の栄養塩管理運転に活用できると考えている。これもまた、牡蠣の生産に貢献できる取り組みである。

二つ目は、分散型下水処理システムとしての活用である。前にも述べたように、OS-DHS は非常にシンプルな構造であることから、現地での施工や維持管理も容易であるため、第3回のインフラテクコンでの提案内にもあったように、災害避難所等への導入が可能であると考えている。

また、下水処理場だけでなく、下水管を含めたインフラの老朽化や、それに伴う地盤沈下等の災

	下水	牡蠣殻	処理水
pH	7.5	7.6	7.9
NH ₄ -N(mg/L)	36.1	21.5	14.6
NO ₂ -N(mg/L)	0	10.4	2.9
NO ₃ -N(mg/L)	12.4	14.1	21.2
Ca ²⁺ (mg/L)	44.1	100.4	95.6

- ・ OS-DHS 上段にてアンモニア酸化が進行
→pH 低下にて牡蠣殻が溶解し、CaCO₃との中和反応が発生（pH の維持に牡蠣殻が寄与）
→牡蠣殻表面の物理的性質によって、アンモニア酸化細菌が膜形成しやすく、反応が進行しやすかった可能性あり

- ・ OS-DHS 下段にて亜硝酸酸化が進行
→pH 維持によって反応が進行

図-3 OS-DHS の窒素除去性能

害も発生しており、下水道という唯一無二の生活インフラを維持していく上では、省エネルギー型下水処理システムの分散配置は今後、需要が高まるのではないだろうか。

6. おわりに

この原稿を執筆する直前に、新潟県長岡市で開催された国際学会 The Water and Environment Technology Conference 2025 に、インフラテクコン主要メンバーの学生とともに参加し、OS-DHSを用いた下水処理に関する研究発表を実施した。その中で、発展途上国を中心に下水処理技術の導入を進めている企業の方から、興味を持っていただくことができた。

インフラテクコンをきっかけに生まれた OS-DHS であるが、下水・廃水の処理性能やアルカリ度供給機能だけでなく、牡蠣殻表面に特異的な微生物群集が構成される等、牡蠣殻を廃水処理に

利用する優位性について、科学的な知見も蓄積しつつある。ちょっとしたきっかけから大きく広がっていく、だから研究は面白い。牡蠣殻の魅力にすっかり取り憑かれ、毎年新しい発見にワクワクしている筆者である。

話は変わって、今回インフラテクコンへの応募と並行して、マレーシアの大学が主催する国際コンテスト「InNOW 2024」にも応募した。チーム名は「Oystainability」。「Oyster」と「Sustainability」を組み合わせた造語である。参加学生の高いセンスを感じた。結果は図-4にあるとおり金メダルであった。そして、本年9月末にはマレーシアで開催される国際学会において、学生が発表を予定しており、英語でのフルペーパーも提出済みとなっている。

インフラテクコンをきっかけに生まれた技術が、世界の衛生問題の解決に貢献していけるように、今後も研究を継続していきたい。



図-4 InNOW 2024 で受賞した金メダル