

氏名(国籍)	雷 暁 輝 (中 国)		
学位の種類	博 士 (生物資源工学)		
学位記番号	博 甲 第 4325 号		
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	The Kinetic Study of Improved Soil Trench Wastewater Treatment System (改良型土壌トレンチ排水処理システムの動力学の検討)		
主 査	筑波大学教授	農学博士	杉 浦 則 夫
副 査	筑波大学教授	農学博士	佐 竹 隆 顕
副 査	筑波大学教授	農学博士	東 照 雄
副 査	筑波大学教授	学術博士	水 鉤 揚 四郎

論 文 の 内 容 の 要 旨

富栄養化した流域では多くの土壌トレンチ方法により、様々な廃水の浄化処理がおこなわれている。例えば：日本の霞ヶ浦、中国のデンチ、太湖などが代表的である。これまでに、様々な物理、化学、生物学的な研究が行われてきたが、窒素除去のメカニズムについてはほとんど明らかにされていない。このメカニズムを解明し、適切な維持管理と建設が行われれば、さらに、新しい信頼できる、有効的、ローコストかつ簡単な土壌トレンチが設計できる。

本論文では土壌トレンチ法に関する、数値シミュレーション、野外実験及びメタン発酵処理液への応用に関する研究を行った。

はじめに、数値モデル CHAIN_2D に基づいて、硝化と脱窒化反応速度に対する土壌含水率と温度の影響を加えて、新しい二次元土壌水、溶質と熱移動モデルを作成した。さらに、そのモデルを利用して、土壌トレンチの最適構造、土壌性質と灌水方法などを推定した。その結果、隔日灌水、深さ 100cm、灌水パイプ間距離 100cm、填壤土などが家庭排水に対して最適であることがわかった。この結果は野外実験で検証し、高濃度メタン発酵処理液を処理する土壌トレンチの設計に役に立った。

次に、十年以上使用してきた土壌トレンチについて、分子生物学、土壌物理、土壌化学方法を使って、土壌含水率、土壌温度、窒素と硝化菌などについて空間的、時間的に評価した。これらの実験はつくば市大角豆に設置されている五人家族の家の土壌トレンチを用いて行った。土壌含水率、土壌温度、窒素などの空間的、時間的変化を観測した。その結果、土壌表層での温度はやや小さな変動があったけれども外気環境の温度に影響を受けたが、一方、深部の土層においては外気の温度にほとんど影響を受けていなかった。土壌水分は、降雨と蒸発散によって温度と同様の影響を受けた。土壌層内窒素の分布は前のシミュレーション結果と同様の分布を示した。アンモニア態窒素は土壌処理システムを使うことによってきわめて効率よく除去されていた。しかし、硝酸態窒素は脱窒に必要な炭素源の不足が推定され、脱窒が不十分であり、排水中に残存した。

また、Real-time PCR と潜在硝化能力方法を使って硝化菌と全細菌の空間的分布を分析した。その結果、硝化反応は土壌トレンチの上層 40cm までの所で優先し、この範囲内のアンモニア酸化菌数の空間的分布に

対して、潜在的な硝化活性方法とリアルタイム PCR 方法ではほぼ同様の傾向が得られ、深さ 10cm を除くと、深さ方向に増加した。さらに、低い飽和導水係数と高い仮比重がアンモニア酸化菌の増殖には適していないことがわかった。

さらに、前のシミュレーション及び野外実験の結果に基づいて、高濃度メタン発酵処理液を処理する土壤トレンチを設計した。物理化学方法を使った前処理と土壤トレンチを組み合わせ、メタン発酵処理液を完全に処理する新しい手法を導入し、実施した。これらの実験は古河市三和町に設置されているバイオガスプラントで行った。まず、アンモニアストリッピングと MAP($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 方法を使って、メタン発酵処理液に対し、最適な方法と条件を検討した。その結果、アンモニアストリッピングはメタン発酵処理液の前処理に適し、さらに、1L メタン発酵処理液に対し、27.5g の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、5L/min の空気流量が最適な条件とわかった。さらに、土壤カラムを使って、新しい土壤トレンチの最適条件と窒素の除去メカニズムを検討した。その結果、硝化反応が安定する前に前処理したメタン発酵処理液中のアンモニアはほとんど土壤中に吸着除去され、硝化反応が安定してからアンモニアがほぼ硝酸になって、除去された。アンモニア除去率が曝気により高まり、低温により低下することがわかった。さらに、廃水の処理速度はアンモニア除去率に大きく影響し、低い廃水処理速度ではアンモニアのカラム中での停留時間が長くなり、アンモニア除去率が高くなることがわかった。

審査の結果の要旨

本研究では土壤トレンチ法に関する、数値シミュレーション及び十年以上使用してきた土壤トレンチの野外調査に基づいて、土壤トレンチの窒素除去メカニズムを解明した。この結果に基づいて、高濃度アンモニア含有のメタン発酵処理液に対して、アンモニアストリッピング法と新しく設計した土壤トレンチ法を組み合わせることにより処理を行った。まず、数値モデル CHAIN_2D に基づいて、硝化と脱窒化反応速度に対する土壤含水率と温度の影響を加えて、新しい二次元土壤水、溶質と熱移動モデルを開発した。さらに、そのモデルを利用して、土壤トレンチの最適構造、土壤性質と灌水方法を推定した。この結果は野外実験で検証し、高濃度メタン発酵処理液を処理する土壤トレンチの設計に役に立った。そこで、十年以上使用してきた土壤トレンチについて、分子生物学、土壤物理、土壤化学方法を使って、土壤含水率、土壤温度、窒素と硝化菌などについて空間的、時間的に評価した。これらの結果に基づいて、高濃度メタン発酵処理液を処理する土壤トレンチを設計した。物理化学方法を使った前処理と土壤トレンチを組み合わせ、メタン発酵処理液を完全に処理する新しく開発した手法を導入し、実施した。まず、アンモニアストリッピングと MAP($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 方法を使って、メタン発酵処理液に対し、最適な方法と条件を検討した。さらに、土壤カラムを使って、新しい土壤トレンチの最適条件と窒素の除去メカニズムを検討し、解明した。

以上より、土壤トレンチの窒素除去メカニズムに対して新規な知見を得て、水環境生態工学の発展に寄与していることが高く評価される。

よって、著者は博士（生物資源工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。