

流動担体を用いた2槽式嫌気性アンモニア酸化処理の窒素除去技術

葛 勇生, 高橋 惇太, 楠本 勝子 (水ing株式会社)
西村 隆司, 郷野 慎二 (水ingエンジニアリング株式会社)

この度は名誉ある技術賞を授与いただき、心より感謝申し上げます。この場をお借りして、ご審査いただいた先生方、日本水環境学会の関係各位に厚くお礼を申し上げます。

本技術は、排水中の窒素を従来法より大幅に省エネ・低コストで除去できる技術です。排水中の窒素、主にアンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) は閉鎖性水域に流出してしまうと富栄養化を引き起こすため、その除去が必要となります。従来法としては生物学的硝化脱窒方法がよく知られています。従来方式は、排水中の窒素を好氣的に硝酸性窒素に酸化する硝化プロセス、そして、嫌氣的に硝酸性窒素を無害の窒素ガスに還元する脱窒素プロセスからなり、硝化プロセスで曝気のために過大な動力を必要とし、脱窒素プロセスで硝酸性窒素を還元する炭素源が必要となるため、メタノール等の添加が必要となる場合もあります。このように、排水の窒素除去技術としてより低コストのものが求められてきました。

本技術は、従来方式と異なる嫌気性アンモニア酸化技術を用いた窒素除去技術です。この技術は1990年代に発見された嫌気性アンモニア酸化菌と呼ばれる新規微生物を用いた処理技術です。硝化プロセスの中間体である亜硝酸性窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) と排水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ を直接反応させて窒素ガスに変換するため、従来法よりも動力を約半分に低減できる上、脱窒素プロセスでの炭素源も不要となり、処理コストが従来約1/3になる画期的な方式です。しかし、この技術の導入には、排水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ の一部を硝化プロセスで $\text{NO}_2\text{-N}$ に止めておくこと、さらに菌を高濃度に育てることが大きな課題でした。

本技術では、上記課題である部分亜硝酸化制御および菌の安定保持を解決するため、流動担体を活用した2槽式プロセスを開発しました。

図1に示した本技術の実機処理フローを用いて、課題解決の方法について説明します。部分亜硝酸化槽にはポリエチレングリコール (PEG) を主体とした親水性ゲル担体を投入しています。このPEG担体は、排水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ を $\text{NO}_2\text{-N}$ に変換するアンモニア酸化菌 (AOB) の付着固定性能が高いことが基礎実験で確認できました。しかし基礎実験の段階ではAOBを維持し、 $\text{NO}_2\text{-N}$ を $\text{NO}_3\text{-N}$ に変換する亜硝酸化菌 (NOB) を抑制することが課題として残りました。この課題解決のため、硝化反応の原理を活用した原水アルカリ度調整および水中遊離 NH_3 および遊離 HNO_2 がAOBとNOBに与える阻害性の違いを利用しました。合成排水を用いたラボ試験ではその有効性が確認できました。

実液を用いた試験は、まず、下水消化汚泥の脱水分離

液に対して行いました。分離液SSやBODの変動を吸収しPEG担体のAOB付着固定性能を維持するために、沈殿池を設けて活性汚泥とのハイブリッド処理を試みました。その結果、前処理することなく、安定した部分亜硝酸化ができ、処理水の $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ 比率もほぼ一定にできました。

一方、菌の培養と保持には、部分亜硝酸化槽に用いたPEG担体とは異なるポリビニルアルコール (PVA) を主体とした親水性ゲル担体を選択しました。PVA担体で培養すると短期間で菌の付着固定が可能となります。部分亜硝酸化処理水を固液分離することで、SSを低減したことも菌の付着固定には有利でした。

本技術を実機1号として適用したのは図1に示した浸出水処理でした。実機導入前には現地試験を約1年行い、想定外の困難を乗り越えながら、その安定性を確認し、実機適用化の確信を得ました。実機の処理規模は $100 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ であり、立ち上げ用の種菌の入手先がなく、研究所で培養したものではとても足りないという課題もありましたが、現地での種菌培養に成功し、2018年の立ち上げは想定より上手くできました。写真1は新品PVA担体と菌付着後のPVA担体を示します。菌付着後のPVA担体は赤い菌で高密度に覆われています。これにより現在までの約3年間安定した処理ができています。

本技術の愛称を社内で募ったところ、DENIMOX[®]の愛称を選定しました。DENIは脱窒素、MOXは菌名からのイメージです。

最後になりましたが、本技術開発におきましては、熊本大学名誉教授である古川憲治先生に多大なるご指導とご助言をいただきました。この場をお借りして心より感謝を申し上げます。

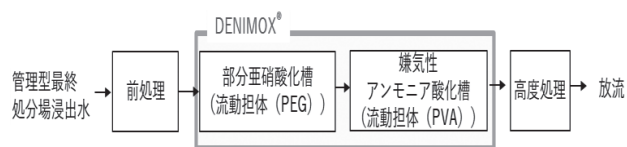
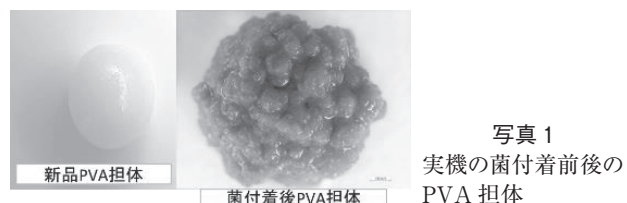


図1 浸出水に適用した本技術の実機処理フロー

土壌・地下水汚染地盤を掘らずに省エネ浄化できる 加温式高速バイオ浄化システム

山崎 祐二, 古川 靖英, 北村 岳 (株式会社竹中工務店)
小林 剛, 鈴木 市郎, 田 小維 (横浜国立大学)
西垣 誠 (岡山大学)

この度は、榮譽ある技術賞を授与いただき、誠にありがとうございます。この場をお借りして審査いただきました先生方、本技術の完成にご協力をいただきました皆様、そして日本水環境学会の関係各位に心よりお礼申し上げます。

「土壌・地下水汚染地盤を掘らずに省エネ浄化できる加温式高速バイオ浄化システム」は、揮発性有機化合物(VOCs)で汚染された地下水・土壌を対象とします。微生物を活性化させる栄養源を混合した温水を井戸から注入して地中を微生物分解に最適な約30℃に温める機能と、蛍光トレーサーを指標に栄養源濃度をモニタリングした結果から注入温度や流量を制御することで不均質な地盤でも温水と栄養源を均一に注入制御する機能を持ち(図1)、従来の原位置浄化工法で課題となっていた浄化期間と浄化品質の両方を解決する省エネ、省CO₂、低環境負荷のバイオレメディエーションシステムです。

国内に11.3万ha(30万~40万サイト)存在すると想定される有害物質による汚染土地において、これまで浄化技術として最も多く採用されている掘削除去は、掘削重機や搬送車両の燃料、および場外処理施設での処理に大量のエネルギーを消費しています。また、土地の資産価値に対して浄化費用が高価になり事業の採算が合わないことから活用されず塩漬けになる用地(ブラウンフィールド)が多数あり、これらを解消できる低環境負荷で安価な浄化技術が期待されていました。VOCsで汚染された地下水・土壌に対して、微生物を利用したバイオレメディエーション等の非掘削の原位置浄化工法は安価で環境負荷の低い有力な選択肢ですが、浄化に長期間を要することや地盤が不均質な場合に浄化不良となる不確実性が懸念され、高いコストをかけて掘削除去が採用され

る事例が多い現状にあります。

筆者らは、栄養源の溶液を加温して地盤に注入して地盤中をVOCsの微生物分解に適した25~30℃に加温することで、土粒子に吸着したVOCsの地下水へへの溶出と、微生物分解を促進し、国内の一般的な地盤温度である15~17℃の場合と比較してバイオレメディエーションの浄化期間を約50%以下に短縮できることを見出しました。また、光ファイバーを用いてppbレベルまで現地計測可能な蛍光トレーサーを用いて、現地分析が難しい栄養源の拡散状況をリアルタイムで見える化し、分析結果から栄養源溶液の温度や注入量、注入・揚水位置などの運転制御を最適化することで、浄化対象領域を微生物分解に適した温度と栄養源濃度に維持可能とし、浄化不良のリスクを低減しました。加えて、揚水した地下水は加温曝気装置とろ過装置で処理して注入水として再利用するとともに、加温およびディスク型微細孔により曝気効率を向上させた曝気装置でVOCsを効率よく除去する水処理システムを構築し、従来型と比較して水処理に関わる消費エネルギーを大幅に低減できることを確認しました。

以上の開発成果により、本技術は従来技術と比較して、単位土壌当たりの消費エネルギー量および浄化コストが掘削除去のそれぞれ50%以下、浄化期間が従来のバイオレメディエーションの50%以下での浄化が可能です。これまで掘削除去ではコスト面で、従来のバイオレメディエーションでは浄化品質や浄化期間が課題となっていた、深く広範囲に拡散したVOCsによる地下水・土壌汚染対策の総合的な省エネ、CO₂削減、低環境負荷を実現する浄化システムを確立できました。

本技術は既存建物の操業中や、建て替え後に建物を運用しながらの浄化といった、柔軟な土地活用に対応可能であることから、地下水・土壌汚染地の再生によるまちづくりの起爆剤としての社会貢献効果が期待されます。関連する技術群は国内外で多数の特許を取得するとともに、日本水環境学会年会などの場で進捗を報告する中で、先駆者の方々からの温かいご指摘を受け、改良を重ねてきました。本技術はこれまでに実際の汚染地で3件の実績があり、今後、技術をさらに研鑽して地下水環境の改善のために貢献していきたいと考えております。

最後になりましたが、本技術の開発に際してお世話になったすべての皆様に、この場をお借りして、心よりお礼申し上げます。

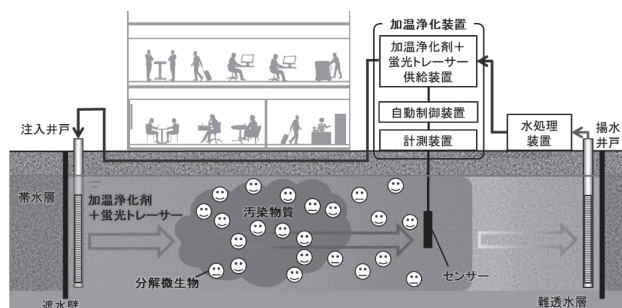


図1 加温式高速バイオ浄化システムの概要