

微生物の高密度固定化による高度排水処理プロセスの実用化

参加企業：住友化学工業株式会社

要約

石炭焼却灰フライアッシュを使って微生物を凝集造粒化することで、硝化細菌及び脱窒細菌を高密度に固定化することができました。硝化 - 脱窒が一貫した高度排水処理システムとして、既存技術を大きく上回る窒素処理能力（窒素容積負荷） $2\text{kg-N/m}^3 \cdot \text{D}$ 以上を達成しました。

1. 技術開発の目標

アンモニアや硝酸などの窒素化合物による湖沼や内湾或いは地下水の汚染は世界中に広がっており、ヒトや家畜、漁業資源への健康障害、経済的損失に対する施策が急務となっています。したがって、排水中の窒素を効率よく除去する、いわゆる高度処理技術の高性能化が希求されています。現在、排水の窒素除去は主として生物処理（活性汚泥法）によって行われていますが、アンモニアの硝酸への酸化（硝化）及び硝酸の窒素ガスへの還元（脱窒）からなる一連の複雑な工程の効率化は難しく、これまで実用化された微生物固定化担体を利用する方式によっても窒素処理能力は $1\text{kg-N/m}^3 \cdot \text{D}$ （1日あたり排水処理装置 1m^3 あたり 1kg の窒素を取り除くという意味で、窒素容積負荷ともいいます）にも満たないのが実情です。

当研究グループは、石炭火力発電所の廃棄物であり、再利用が求められている石炭焼却灰フライアッシュに微生物を凝集造粒化する性質があることを見出し、これと活性汚泥との凝集造粒体を形成させ、アンモニアを含有する排水と酸素とを連続的に与えることで、硝化細菌を著しく高密度化する技術を開発しました。

そこで、当研究グループは、このような微生物の高密度固定化技術を脱窒細菌にも応用し、硝化 - 脱窒が一貫した窒素除去システムとして実用化することを目的として、技術開発に取り組みました。すなわち、微生物の凝集造粒体に硝酸（硝化反応の生成物）と有機物（還元反応の電子供与体）を与えれば脱窒細菌を高密度化できると考えられ、この脱窒工程と硝化工程とを組み合わせれば、窒素除去効率の高い高度排水処理システムとなることが期待されます（図）。

本開発技術による窒素処理能力の到達目標値は $2\text{kg-N/m}^3 \cdot \text{D}$ としました。すでに技術確立済みの硝化工程ではパイロットスケールで硝化能力 $14.4\text{kg-N/m}^3 \cdot \text{D}$ を達成していますが、その半分の能力で運転するとして目標値を $7.2\text{kg-N/m}^3 \cdot \text{D}$ とおくと、例えば脱窒能力の目標値を $3.6\text{kg-N/m}^3 \cdot \text{D}$ に設定すれば、硝化 - 脱窒を通算した窒素処理能力は $2.4\text{kg-N/m}^3 \cdot \text{D}$ となります。

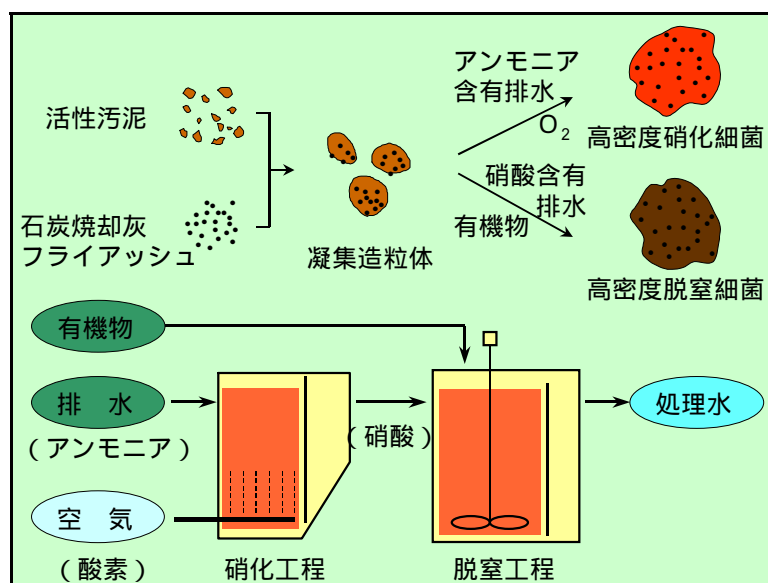


図1 石炭灰フライアッシュによる微生物の固定化と硝化・脱窒細菌の高密度化及びそれを用いた排水処理プロセス例

2. 平成 13 年度実施結果

1) 基本プロセスの確立

微生物の高密度固定化条件の検討

前述のとおり、本開発技術の前半工程である硝化工程については技術確立及び実証が終了しています。そこで、硝化 - 脱窒の基本プロセスを確立するために、後半の脱窒工程のみについて、ラボスケールで立ち上げから能力評価試験までを実施しました。

立ち上げ方法は、硝化工程で確立した手法に準じて行いました。石炭焼却灰フライアッシュ 5% [w/v]と活性汚泥 5g-MLSS (懸濁浮遊物質) /L とを攪拌槽に入れ混合し、凝集造粒体を形成後、窒素源として硝酸ナトリウムを、有機物としてメタノールをそれぞれ使用して連続培養を行いました。

その結果、予想通り脱窒細菌の高密度固定化を達成することができ、約 60 日間培養後に脱窒能力は $4.8\text{kg-N/m}^3 \cdot \text{D}$ に達し、目標値を十分クリアしました。すなわち、石炭焼却灰フライアッシュを用いた微生物の固定化技術を脱窒細菌の高密度化にも適用できることが確かめられました。

なお、高密度硝化細菌及び脱窒細菌の凝集造粒体については走査型電子顕微鏡による形態や微生物コロニーの観察を実施しました。さらに、高密度硝化細菌については蛍光遺伝子プローブを用いる FISH (Fluorescent *in situ* hybridization) 法によって、硝化細菌が極めて密に集積している様子を確認しました。

実液評価テスト例 ~高濃度のアンモニアを含有する産業排水の処理~

本開発技術に基づく硝化 - 脱窒一貫処理が実現可能であることが示唆されましたので、次に実際の産業排水 (実液と呼びます) を用いた処理能力評価テストを実施しました。一例として、高濃度のアンモニアと有機物とを含有する排水の処理について検討した結果を示します。

テストに使用した排水は、有機物 (BOD; 生物学的酸素要求量) 濃度がアンモニア態窒素濃度の約 1/2 というものです。硝化細菌、脱窒細菌をそれぞれ高密度固定化した 2 槽からなる処理システムにこの実液を供給し、処理能力を測定しました。なお、通常窒素を完全に除去するには窒素に対して約 3 倍の BOD が必要なため、脱窒工程にメタノールを補給して BOD 不足を補いました。

実液の供給を開始してから約 50 日後に処理成績が安定し、窒素処理能力は $2.1\text{kg-N/m}^3 \cdot \text{D}$ 以上、最高 $3\text{kg-N/m}^3 \cdot \text{D}$ を達成しました。その後約 3 ヶ月間、安定した処理成績が維持されました。BOD も含め、処理水の水质は表に示すとおり非常に良好でした。なお、表における「目標値」とは、当該排水処理設備に求める自主基準です。本開発技術による処理設備 (排水量 $1000\text{m}^3/\text{D}$ 規模) を実際に建設した場合、既存の微生物固定化技術に基づく設備を建設する場合の約 1/3 ~ 1/4 の規模で実施可能であると試算されました。

2) スケールアップ

ラボスケールの実験結果の再現・確認及び実用化に必要なデータを採取するため、30L ~ 150L サイズのベンチテストを開始しました。これと並行して、 3m^3 規模のパイロット実験装置を設計しました。

今後は、本開発技術の具体化に必要な種々のデータの取得を進めて最適化を目指すとともに、パイロット実験装置を構築して、スタートアップ条件の再現と確認、硝化 - 脱窒一貫処理システムとしての窒素処理能力測定などの評価検討を展開していく予定です。

表 産業排水処理水の水质成績

	BOD	窒素	pH
原水	223	405	9
処理水	1	0	8
目標値	20	15	6-9

(pH 以外単位 mg/L)