

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

ICETT - 新居浜研究室 (住友化学工業株)

主任研究員 中村 洋介

研究員 青井 正廣

開発期間：2001～2002年度

要約

石炭灰フライアッシュを用いた微生物の凝集固定化技術によって、生物学的窒素除去を効率的に達成する高度排水処理プロセスのスケールアップ要件を明らかにした。

ベンチスケールの実証試験により、記載のスケールアップ要件を検証・確認した。

パイロットスケールの実証試験により、記載のスケールアップ要件を検証・確認した。

以上の成果をもとに、本高度排水処理プロセスが、実用規模で所期目標の窒素(N)除去性能(2kg-N/m³・D以上)を満たしうるとの確証を得た。

1. 技術開発の目標

窒素に起因する湖沼や内湾或いは地下水の汚染は、それを飲用するヒトや家畜に甚大な健康障害を及ぼすことから解決が最も急がれる国際的水環境問題のひとつであり、排水中の窒素を効率よく除去する技術の実用化が待望されている。当研究グループは、代表的な窒素除去技術である生物処理を従来の2倍以上効率化することを目標に技術開発を行った。すなわち、現在、最も効率が高いとされる排水の硝化(排水中の窒素の主要形態であるアンモニアを、亜硝酸を経て硝酸に酸化する反応) - 脱窒(亜硝酸や硝酸を窒素ガスに還元して排水から除去する反応)処理装置でも窒素(N)除去性能が高々1kg-N/m³・D程度であることから、本技術開発の到達目標値を2kg-N/m³・Dとした。

余剰の活性汚泥に、再利用が求められている石炭灰フライアッシュを混合し凝集造粒体を形成する。これに、好気下連続的にアンモニアを含有する排水を与えることで硝化細菌を、嫌気下硝酸(硝化の反応生成物)を含有する排水と有機物(還元反応の電子供与体)を与えることで脱窒細菌を、それぞれ高密度化できると考え、両者を組み合わせた高効率の窒素除去プロセスの実用化をめざした(図1)。

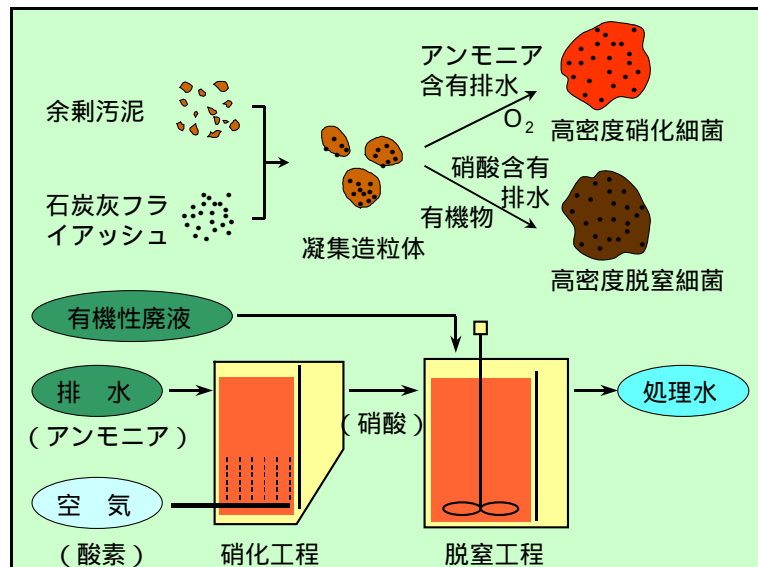


図1 石炭灰フライアッシュによる硝化細菌及び脱窒細菌の高密度化のメカニズムとその排水処理プロセス応用例

硝化工程については、既に技術確立及びパイロットスケールまでの実証検討を終了した。よって、本技術開発においては、主として脱窒工程の技術確立及びスケールアップを検討する。

2. 平成 14 年度実施内容及び結果

(1) ベンチテスト ～スケールアップ要件の検討～

平成 13 年度技術開発によって、脱窒工程における微生物の高密度固定化条件を検討し、この脱窒工程を含む硝化 - 脱窒高度排水処理の基本プロセスを確立した。平成 14 年度は、一部ラボスケールでの検証を踏まえながら、ベンチテストによって主に脱窒工程のスケールアップ要件を検討した。

スケールアップ要件の検討

表 1 にスケールアップ要件の各項目とそれぞれの検討結果をとりまとめた。検討試験方法は省略した。

表 1 脱窒工程に関する微生物高密度固定化技術のスケールアップ要件と検討結果

スケールアップ要件	検討目的・意義	検討結果
懸濁物質の生成量	排水処理副産物である余剰懸濁物質 (SS) 生成量の把握	約 $2\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{D}$ 実用上問題なし SS 生成量は原水 C/N 比に比例
原水の炭素 / 窒素比 (C/N 比)	過剰の有機物 (C) は好気処理の負担や余剰 SS 増加原因 他方 C 不足は脱窒処理停滞の要因	好適 C/N 比範囲は 2~3
反応の好適 pH 範囲	反応条件最適化及び pH 変動の影響の把握	pH4.5~9.0 で反応が進行 アルカリ側への pH 変動の影響大
反応の好適温度範囲	反応条件最適化及び温度変動の影響の把握	10~42 で反応が進行 高温側への温度変動の影響大
原水の窒素性状	硝化反応の中間生成物である亜硝酸の脱窒細菌に対する影響の把握	原水の亜硝酸態窒素濃度が 800mg/L で顕著な影響あり

ベンチテスト装置の連続運転による脱窒処理性能の評価

前項の各要件検討結果を踏まえ、図 2 に示す試験装置を使用してベンチスケールの連続脱窒処理テストを行った。後述のパイロット機同様、脱窒処理槽と沈降槽を分離独立し、沈降槽から回収固形物を脱窒処理槽へ常時返送する構造とした。

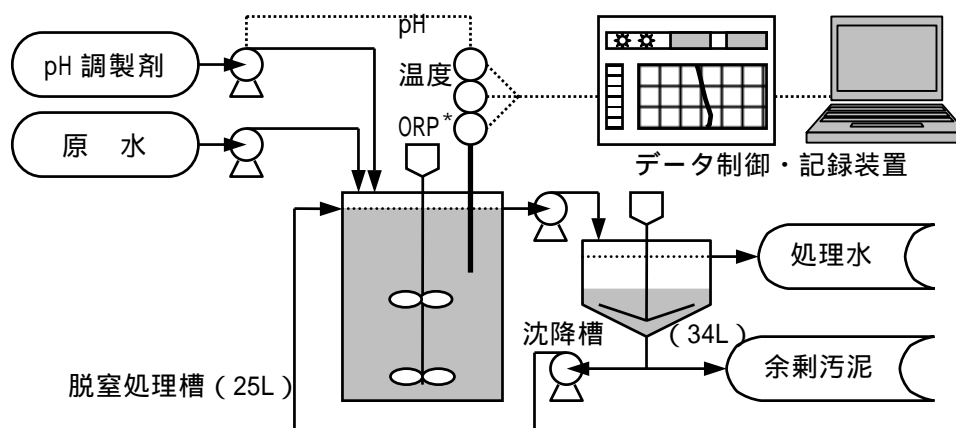


図 2 ベンチスケール脱窒処理試験装置概略 (*ORP = 酸化還元電位)

(テスト条件)

脱窒細菌の高密度化は、図3の手順に従った。各原料仕様を次に示す。

石炭灰フライアッシュ：

火力発電所由来 5%(w/v)

植種源：

化学工場活性汚泥 5000mg/L

窒素源：

硝酸ナトリウム 150mg-N/L ~

有機物：

化学工場廃液(酢酸約2重量% -

ホルムアルデヒド約1.5重量%)

pH調整剤：

10%炭酸ナトリウム溶液

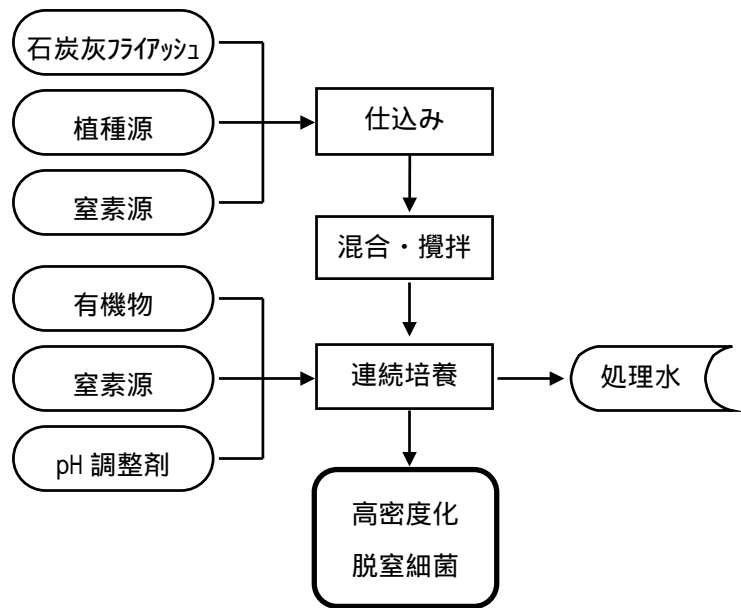


図3 脱窒細菌の高密度固定化の手順

(連続処理及び測定)

脱窒処理槽に供給する原水のC/N比を3に保ちながら模擬排水(原水)流量及び原水窒素濃度を時間の経過に伴って増加した。下記計算式に従って、プロセスの窒素除去率及び脱窒処理性能を算出した。硝酸態窒素濃度の測定はイオンクロマトグラフによった。

$$\text{窒素除去率}[\%] = \{(\text{原水硝酸態窒素濃度} - \text{処理水硝酸態窒素濃度}) / \text{原水硝酸態窒素濃度}\} \times 100$$

$$\text{脱窒処理性能}[\text{mg-N/L}\cdot\text{hr}] = (\text{原水硝酸態窒素濃度} - \text{処理水硝酸態窒素濃度}) / \text{脱窒処理槽滞留時間}$$

(脱窒細菌の高密度化及び脱窒処理成績)

連続処理の窒素処理成績を図4に示す。平成13年度において実施したラボスケール実験をよく反映し、約3ヶ月間で脱窒処理性能が約160mg-N/L·hr(3.8kg-N/m³·D)に達した。

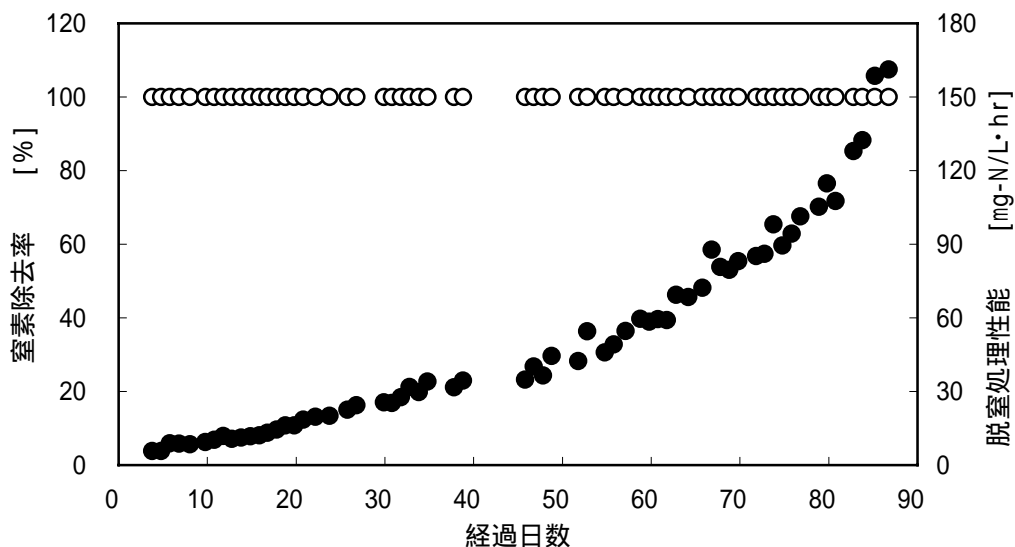


図4 連続培養による脱窒細菌の高密度化(脱窒処理性能の向上)

(スケールアップ要件の検証)

前記の通り検討したスケールアップ要件の幾つかについて、本ベンチテストにおいて検証することができたので、その要点を次に列記する。

原水 C/N 比： 原水 C/N 比を 3 に維持した結果、図 4 の通り右肩上がりの窒素除去性能を確保できた。電子供与体となる一方で微生物に対する有害性も懸念される原水中のホルムアルデヒドは、本 C/N 比条件下において処理水中の濃度が平均 0.5mg/L と、低残存性を示した。

反応温度： テスト期間中反応温度は最高 42.6 に達したが、あらかじめ検討しておいた通り高温域における脱窒処理の適応性は良好で、高い脱窒処理性能を保持した。

(2)パイロットテスト

パイロット機の構築

平成 13 年度技術開発において、ラボスケールの基本プロセス確立検討と並行してパイロット機の基本設計を実施した。平成 14 年度は、図 5 に示すフローに基づくパイロット機を構築した。

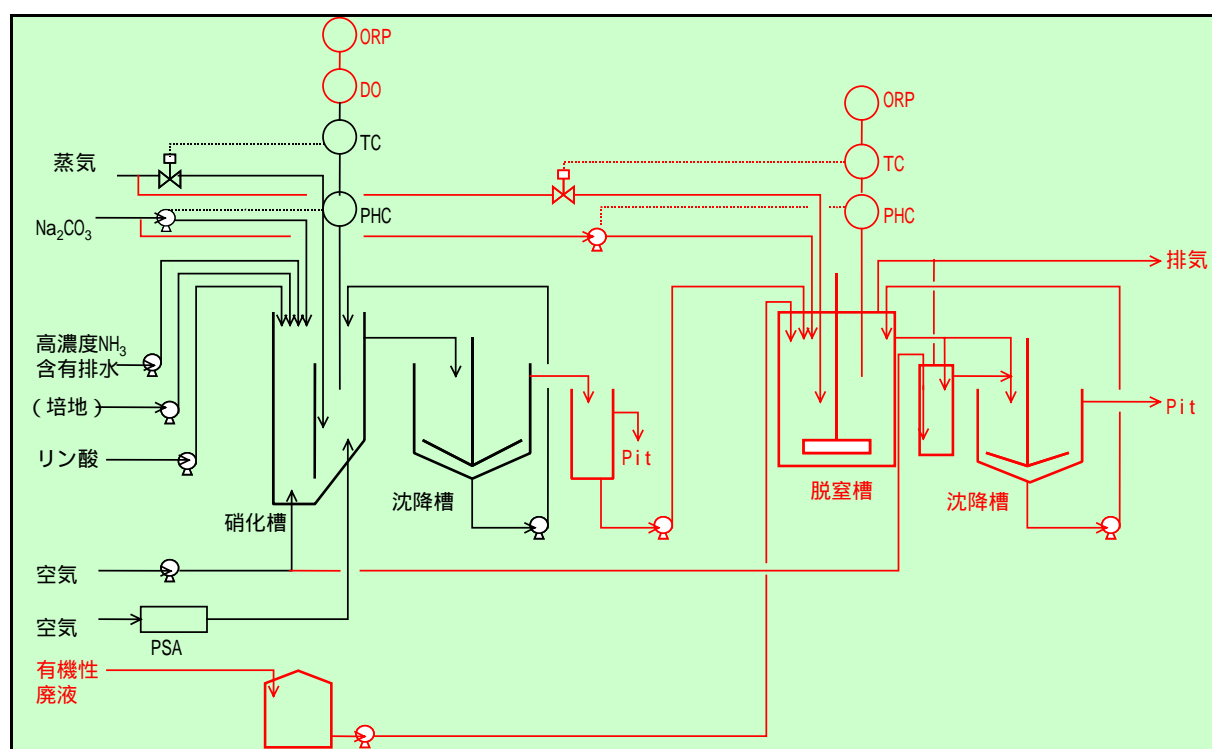


図 5 パイロット実験装置の概略フロー (黒色表記：既設 赤色表記：新設)

パイロット機の運転評価

(テスト条件)

脱窒細菌の高密度化手順は図 3 に同じである。各原料仕様のうち、パイロットテストと異なる事項のみ次に列記する。

窒素源： 化学工場の高濃度アンモニア含有排水(アンモニア態窒素濃度 5.8~8.8 重量%, 有機物を総有機態炭素濃度として 1900~4700mg/L 含む)を、高密度固定化硝化細菌による硝化処理(パイロット機の既設硝化工程における処理)を行って硝酸化したものを脱窒工程の窒素源とした。

pH 調整剤： 28%炭酸ナトリウム溶液を使用した。

(連続処理及び測定)

ベンチテストに準じた。

(脱窒細菌の高密度化及び脱窒処理成績)

連続処理の窒素処理成績を図6に示す。前述の通り、パイロットテストにおいては、ベンチテストと異なり窒素源として実際の高アンモニア濃度排水を硝化処理して供給した。また、パイロット機には原水C/N比が3になるようにあらかじめ計算して窒素源及び有機物を供給したが、ともに実際の排水を使用するがゆえにC/N比はおよそ1から4の範囲で変動した。このようなやや過酷な条件でのテストとなったため、図4のグラフほど滑らかな上昇曲線にはならず脱窒処理性能も最高約140mg-N/L・hr(3.4kg-N/m³・D)にとどまったが、概ねラボ及びベンチスケールの試験結果を反映する脱窒細菌の高密度化と窒素除去が達成できることが示された。

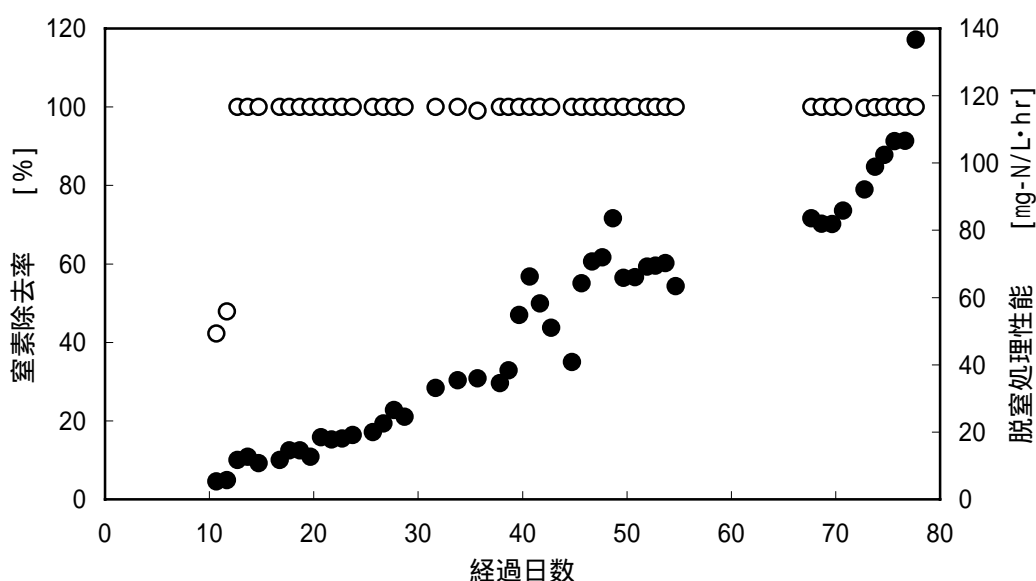


図6 連続培養による脱窒細菌の高密度化(パイロットスケール)

(総括)

本技術開発以前(平成11~12年度)に実施したパイロットテストによれば、300~600mg-N/L・hr(7.2~14.4kg-N/m³・D)の硝化処理性能が得られることは実証済みである。これに照らし合わせれば、脱窒処理性能として100~120mg-N/L・hr(2.4~2.9kg-N/m³・D)を確保できれば、本研究の目標である85mg-N/L・hr(2kg-N/m³・D)を達成することができる。ラボ、ベンチ及びパイロットまでのいずれの実験スケールにおいても、150mg-N/L・hr(3.6kg-N/m³・D)前後まで脱窒処理性能を実証できたので、前記目標を満たす実用機の開発可能性が強く示唆された。

3. 今後の予定

本技術開発の実用化をさらに促進するためには、パイロット機の通年連続運転による信頼性評価や脱窒工程のさらなる高性能化・高効率化の可能性の追求などについて検討する余地はあろう。冒頭述べたように、高効率な窒素除去技術の開発が希求されているため、できるだけ早い実用機の開発を目標に今後も取り組んでいく予定である。