

低炭素型生物学的窒素除去 「アナモックス法」の 新たなプロセスの開発と応用

東北大学大学院 工学研究科 助教

陳 玉 潔



1 はじめに

ゼロエネルギーとカーボンニュートラルを目指し、持続可能な社会を実現するために、アナモックス法は新たな低炭素型生物学的な窒素除去プロセスとして注目されている。しかし、アナモックス法はアナモックス細菌の増殖が遅い、反応が不安定、除去率が低い、制御が困難などの課題があり、普及には至っていない。近年、これらの課題を解決する新しいプロセスが開発され、さまざまな排水や条件に適応可能となっている。

本稿では、新たなプロセスの開発と応用について紹介する。

2 アナモックス反応と細菌

嫌気性アンモニア酸化(Anaerobic Ammonium Oxidation: Anammox)は、1990年代に発見された独立栄養性アナモックス細菌による窒素変換反応である。

アナモックス反応は、式(1)に示すように、嫌気性条件下におけるアナモックス細菌がアンモニウムと亜硝酸塩を窒素ガスに変換させることで、排

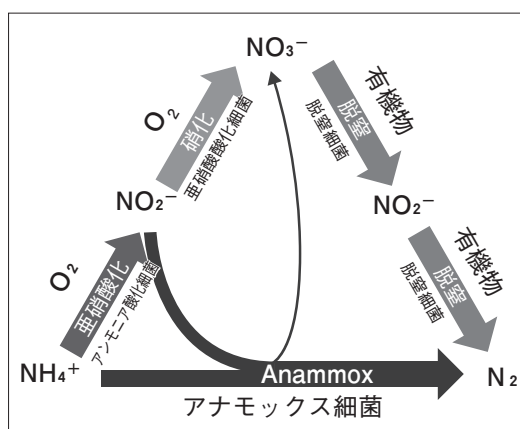


図-1 窒素除去プロセスに関する反応

水から窒素を除去できる生物技術である。

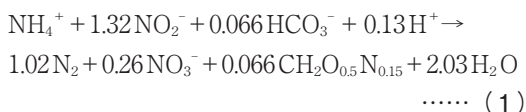


図-1に示す従来の窒素除去法である硝化脱窒法と比べ、アナモックスを利用したプロセスは有機炭素の添加が不要であり、曝気が半分程度削減でき、低コストで省エネルギー的な技術とされている。

3 アナモックスプロセスの構築

3.1 亜硝酸塩を得るための組合せ

アナモックス反応にはアンモニウムと亜硝酸塩が必要であるが、一般的な排水にはアンモニウムしか含まれていない。

この亜硝酸塩を得るには、好気性条件下でアンモニア酸化細菌によってアンモニウムを亜硝酸塩に酸化させるプロセスが必要となる。したがって、アナモックスプロセスは他のプロセスと組み合わせて実施する必要がある。

3.2 亜硝酸化アナモックスプロセス (PNA)

二槽式部分亜硝酸化アナモックスプロセス (Partial Nitritation and Anammox:PNA) は、部分亜硝酸化とアナモックス反応をそれぞれ好気性反応槽と嫌気性反応槽で行うプロセスである (表-1)¹⁾。アナモックス反応槽では、最大 $45 \text{ kgN/m}^3/\text{d}$ の窒素除去速度が報告されている²⁾。しかし、アンモニア酸化反応槽を含め、二槽式プロセス全体の窒素除去速度は $2 \text{ kgN/m}^3/\text{d}$ 以下になることが多い。

一槽式 PNA プロセスとは、担体やグラニュール汚泥を用いて亜硝酸酸化細菌とアナモックス細菌の棲分けを実現し、約 56% のアンモニウムの亜硝酸化反応とその後のアナモックス反応を一つの反応槽で行うプロセスである。二槽式プロセスと比べ、一槽式プロセスはコンパクトであり、ランニングコストを削減でき、簡単に運転できるなどの利点がある。高濃度の窒素を含有する排水を処理するには、窒素除去速度は $2 \text{ kgN/m}^3/\text{d}$ を実現でき、最高 $6 \text{ kgN/m}^3/\text{d}$ を達成できる³⁾。

しかし、一槽式 PNA プロセスでは、亜硝酸塩が亜硝酸酸化細菌によって硝酸塩に酸化されることがあるため、窒素除去効果が低下する。特に、低窒素濃度排水 (例えば、生活下水) を処理する場合、亜硝酸酸化細菌の抑制が難しいため、下水処理に PNA プロセスを適応させることは容易で

はない。

3.3 開発された窒素除去率向上プロセス

アナモックス反応では、約 11% の硝酸の生成に伴い、理論的な窒素除去率は約 89% である。したがって、窒素除去率を向上させ、流出水中の硝酸塩を除去する必要がある場合、部分脱窒アナモックス (Partial Denitrification and Anammox : PDA) と SNAD (Simultaneous partial Nitrification, Anammox, and Denitrification) プロセスが開発されている。

PDA プロセスでは、まず脱窒細菌が有機物を利用して硝酸塩を亜硝酸塩に還元する。その後に、アナモックス反応が行われ、窒素の 100% の除去率が可能である。PNA プロセスと同様に、PDA プロセスにも二槽式と一槽式のタイプがある。PDA プロセスは、亜硝酸酸化細菌を抑制できない場合に硝酸塩を含有する排水を処理できるが、脱窒反応には有機物が必要である。排水中の有機物だけを利用すれば最適であるが、別途利用されやすい有機物を添加することも多い。

なお、流入水に微生物に分解されやすい有機物が存在する場合、アナモックス反応槽と一槽式 PNA 反応槽において、脱窒細菌が硝酸塩を還元することで、窒素除去率を向上させることができる。しかし、脱窒細菌の増殖速度はアナモックス細菌よりも速いため、アナモックス細菌を維持するためには、脱窒細菌の増殖を制御することが重要である。

4 プロセスの効率化と安定化の方策

アナモックス細菌は溶存酸素、有機物、高濃度基質などにより阻害されやすい、増殖も極めて遅いため、安定した運転と高い窒素除去効果を維持するためには、アナモックス汚泥の流失を防ぎ、反応槽内に十分量のアナモックス細菌を保持することが重要である。これを実現するために、さまざまな微生物の付着可能な担体および反応槽が工夫されている。