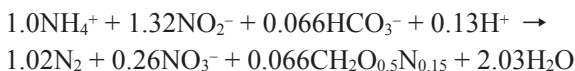


Anammoxによる窒素除去

山際 秀誠

「嫌気性アンモニア酸化」 anammox (anaerobic ammonium oxidation) は比較的新しい窒素除去技術である。国内では約10年前に熊本大学の古川憲治教授が anammox 細菌の集積培養に初めて成功したり¹⁾、しかし、倍加時間が11日(その後の研究では2日程度という報告もある)という anammox 細菌を実際の排水処理に適用することは難しいと予想された。当時の窒素除去技術の主流は好気性の細菌によりアンモニア態窒素を硝酸態窒素にまで酸化(硝化)した後、嫌気性の細菌によって窒素ガスへと還元する(脱窒)技術であった。しかしながら、この10年間に、anammoxによる窒素除去技術は急速に発展した。現在では、さまざまな排水処理に対し、硝化・脱窒法よりも高効率で適用できることが明らかになっている。本稿では、培養技術の発展により、数年後には実用的な窒素除去技術になることが期待されている anammox の研究状況について紹介する。

Anammoxは嫌気条件下で窒素除去が進行する反応で、1995年にオランダのデルフト工科大学の研究グループにより世界で初めて報告された²⁾。この報告の中では、反応基質がアンモニア態窒素と硝酸態窒素であると発表されたが、1998年にデルフト工科大学から真の反応基質がアンモニア態窒素と亜硝酸態窒素であると修正されて、式(1)に示す反応式が提案された³⁾。



この報告の後、古川らはポリエステル製の不織布を微生物付着用の固定化担体として用いることによって国内で初めて anammox 汚泥の集積培養に成功し、その後は加速度的に研究が進んでいった。

現在、anammoxを用いた窒素除去技術の開発は大きく分けて2つの技術に大別される。一つは、流入するアンモニア態窒素の約半分量を亜硝酸態窒素にまで酸化する部分亜硝酸化槽と anammox 槽を組み合わせた二槽型の anammox 法である。この方法では、前段の部分亜硝酸化槽において溶存酸素や温度などを適当に調節することによって、亜硝酸酸化細菌の増殖を阻害し、アンモニア酸化細菌に優位な環境をつくることで部分亜硝酸化反応を行い、後段で anammox 処理を行うものである。anammox 槽では、anammox 細菌を高濃度で維持するために、前出のポリエステル製不織布に付着固定する方法のほかに、ポリエチレングリコール系のゲルに包括固定する方法⁴⁾やビール粕を炭化したモルトセラミックスに

固定する方法⁵⁾、anammox 細菌自体がフロック形成細菌の *Zoogloea* と共生することで形成されるグラニュールを用いた方法⁶⁾なども開発されており、下水処理施設内で生じる消化汚泥の脱水ろ液や工場排水などの実排水を用いた実証試験が実施されている。

一方、もう一つの方法である一槽型の anammox についても古川らによってポリエステル製不織布を用いた SNAP (Single stage Nitrogen removal using Anammox and Partial nitritation) 法が開発された⁷⁾。この方法では不織布内部に嫌気性の anammox 細菌が付着固定され、さらにその表層側に好気性のアンモニア酸化細菌が付着固定されており、両者が共生することによって、部分亜硝酸化反応と anammox 反応が一つの反応槽中で進行するものであった。さらに、山際らによって、SNAP 法において不織布よりも立体的な構造を有するパイル織物を固定化担体として用いると、より効率的な窒素除去が可能になったことが明らかにされた。パイル織物を細菌固定化担体として用いた SNAP 法では平均窒素除去速度と平均窒素除去率は、それぞれ $1.46 \text{ kg-N/m}^3 \cdot \text{day}$ と 91.5% に達している⁸⁾。一槽型の anammox 法は、硝化・脱窒法や二槽型の anammox 法と比較して、省スペース・省エネルギーの処理技術として期待されている。

この10年間で anammox に関する研究は飛躍的に進歩しており、これまでは困難とされていた培養条件下でも、anammox 細菌を好気性の細菌と適切な固定化担体を用いて共培養することによって排水中の窒素を除去できるようになってきた。特に一槽型の anammox である SNAP 法は培養装置や付帯設備を簡略化できるために、国内だけでなく発展途上国における水質改善にも大きな効果をもたらすと考えられる。今後のさらなる発展と実用化に大きな期待を寄せるものである。

- 1) Furukawa, K. *et al.*: *Jpn. J. Water Treat. Biol.*, **38**, 87 (2002).
- 2) Mulder, A. *et al.*: *FEMS Microbiol. Ecol.*, **16**, 177 (1995).
- 3) Strous, M. *et al.*: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **50**, 589 (1998).
- 4) 井坂ら：用水と廃水, **53**, 46 (2011).
- 5) 岡本ら：用水と廃水, **53**, 63 (2011).
- 6) 徳富：用水と廃水, **53**, 58 (2011).
- 7) Lieu, P. K., *et al.*: *Jpn. J. Water Treat. Biol.*, **41**, 103 (2005).
- 8) Yamagiwa, Y. *et al.*: Proceeding of 1st International Anammox Symposium 2011, p.217 (2011).