

# 博士論文要旨

## 論文題名：養豚廃水処理施設における SNAD プロセスによる窒素除去に関する研究

立命館大学大学院理工学研究科  
環境都市専攻博士課程後期課程  
イシモト チカコ  
石本 史子

本論文は、フルスケール (FS) の養豚廃水処理施設において偶発的に発生した嫌気性アンモニア酸化 (anaerobic ammonium oxidation、アナモックス) 細菌の集積の要因、および集積されたアナモックス菌によって構築された simultaneous partial nitrification, anammox and denitrification (SNAD) プロセスによる窒素除去についてまとめた研究である。

第1章では、畜産廃水の窒素除去対策の課題をまとめた。畜産経営においては水質汚濁防止法における排水の硝酸性窒素等について暫定基準が設定されているが、将来的には一律基準の適用が見込まれており、畜産廃水の窒素除去対策は喫緊の課題である。畜産廃水は汚濁物質の濃度が高く BOD/N 比が低いため、硝化脱窒法では曝気や有機物資材にかかるコストが高く、事業者の負担が大きい。そこで硝化脱窒法より低コストで運用可能な窒素除去法として、アナモックス反応の適用が期待される。

第2章では、FS 施設におけるアナモックス菌の集積要因について、2年間にわたり曝気槽内環境および水質を調査して検討を行った。その結果、溶存酸素 (DO) 濃度および pH が 1 槽型アナモックスプロセスの至適範囲に維持されていること、アナモックス反応の基質であるアンモニア ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) と亜硝酸 ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) が存在すること、倍加速度の遅いアナモックス菌が長い汚泥滞留時間により槽内に保持されることが要因として抽出された。集積されたアナモックス菌バイオフィームには *Candidatus Jettenia* など特定のアナモックス菌が存在することを明らかにした。流入水の BOD/N 比が低い場合でも窒素除去率は高かったことから、1つの槽内で  $\text{NH}_4\text{-N}$  の部分亜硝化とアナモックス反応および従属栄養脱窒が同時に進行する SNAD プロセスにより窒素除去が行われていることが示された。窒素除去能を変動させる要因として、DO 濃度や遊離亜硝酸濃度の上昇によるアナモックス反応の阻害、または曝気不足による基質の律速などが確認されたことから、DO 濃度と pH を指標とした曝気コントロールが安定した窒素除去に必要であることを明らかにした。

第3章では、FS 施設の曝気槽の環境を再現した小型試験装置を用いて集積試験を行った。試

験開始から5ヶ月でアナモックス菌バイオフィルムの形成が確認され、第2章で示された要因によりアナモックス菌が集積されることを裏付ける結果を得た。また、槽内のアナモックス菌バイオマス量を増加させることで、窒素除去速度の向上が期待されることを明らかにした。

第4章では、FS施設において低温期にアナモックス菌グラニューールが頻繁に浮上する現象に着目し、アナモックス菌の低温への適応の可能性について検討を行った。グラニューールは基質が豊富に存在する低温期にアナモックス反応により浮上することが示された。四半期ごとにグラニューールのアナモックス活性と菌量を測定したところ、低温期の4月のグラニューールで最も高いアナモックス活性と最大の菌量が確認された一方、高温期の10月のグラニューールはアナモックス菌量が最少で、アナモックス活性より脱窒活性が高かったことから、低温期にグラニューールにアナモックス菌が集積されて高い活性を示すと判断した。グラニューールは10-35℃の範囲において、低温期(1月、4月)は30℃、高温期(7月、10月)は35℃で最大のアナモックス活性を記録し、水温が低下しても低温期グラニューールは高温期グラニューールより高い活性を維持していた。グラニューールのアナモックス菌は年間を通して *Candidatus Jettenia asiatica* が優占しており、この菌が季節の水温変動に対応して低温に順化したことが示された。FS槽における窒素除去速度は年間を通して一定であったことから、低温期は低温に順応し高度に集積されたアナモックス菌によるアナモックス反応が優勢となり、高温期は従属栄養脱窒反応が優勢となることにより、加温を行わなくても安定した窒素除去が行なわれたものと判断した。

第5章では、曝気槽のDO濃度に応じて曝気量を制御するシステムをFS施設に導入し、低温期の窒素除去能に及ぼす影響および経済効果について検討した。DO濃度上昇による阻害が抑制されて窒素除去速度が安定した結果、試験期間を通して硝酸性窒素等の一律基準を達成できるとともに、制御前に比較して消費電力量が有意に削減された。

以上により、本研究では畜産廃水処理施設におけるアナモックス菌の集積要因について知見を得られるとともに、それを活用した加温を必要としないSNADプロセスによる安定した窒素除去プロセスの開発に関する成果を得ることができたと考える。

## Abstract of Doctoral Dissertation

### **Title: Study on nitrogen removal by simultaneous partial nitrification, anammox and denitrification (SNAD) process in a swine wastewater treatment plant**

Doctoral Program in Advanced Architectural, Environmental and Civil Engineering  
Graduate School of Science and Engineering  
Ritsumeikan University

イシモト チカコ  
ISHIMOTO Chikako

This thesis reports on the removal of nitrogen by naturally accumulating anammox bacteria in a full-scale swine wastewater treatment plant (WWTP).

Chapter 1: Urgent issues with nitrogen removal measures for livestock wastewater are summarized. These issues require the application of the anammox process as a low-cost solution.

Chapter 2: The following factors for the growth of anammox bacteria in the WWTP are determined and discussed: optimal DO concentration and pH during the one-stage anammox process, the presence of  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{NO}_2\text{-N}$ , and a long SRT. Nitrogen removal efficiency was high even under a low BOD/N ratio, meaning that the SNAD process was in operation. Based on these observations, an aeration control on DO and pH levels is essential for a stable nitrogen removal process.

Chapter 3: The observations of bacterial accumulation in a laboratory-simulated WWTP are presented. An anammox biofilm appeared in the simulation tank after five months under the conditions described in Chapter 2.

Chapter 4: The activity of anammox bacteria at low temperatures is discussed. The activity levels of anammox granules were measured quarter-yearly. The highest level was observed in April. Anammox activity peaked at 30 °C in granules accumulated in the cold period, but moderate activity was also maintained at 10 °C.

The dominant species in the granules, *Candidatus Jettenia asiatica*, acclimatized to low temperatures in response to seasonal changes in water temperature. A stable nitrogen removal rate was accomplished by the combined anammox and denitrification process on season-dependent, without requiring heating.

Chapter 5: The installation and benefits of an aeration control system within the WWTP are discussed. The system enabled to achieve a stable nitrogen removal process, along with a significant reduction in electricity consumption.

The findings of this study contributed to the development of a seasonally stable nitrogen removal system at WWTPs.