

〈研究発表〉

固定床型アナモックスプロセスにおける自動運転の最適化に関する検討

高木 啓太¹⁾, 渡邊 陽一²⁾, 糸川 浩紀³⁾

¹⁾(株)タクマ 水処理技術部1課
(〒660-0806 兵庫県尼崎市金楽寺町2-2-33 E-mail: k-takaki@takuma.co.jp)

²⁾熊本市上下水道局 計画整備部計画調整課
(〒862-8620 熊本市中央区水前寺6-2-45 E-mail: watanabe.yoichi@city.kumamoto.lg.jp)

³⁾日本下水道事業団 技術戦略部技術開発企画課
(〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-27 E-mail: itokawah@jswa.go.jp)

概要

アナモックス反応を利用した窒素除去技術「固定床型アナモックスプロセス」について、実規模実証施設(B-DASH 実証施設)を用いて下水処理場の汚泥処理返流水(嫌気性消化汚泥脱水ろ液)からの窒素除去に関する実証試験を実施した。平成24~25年度の国土交通省下水道革新的技術実証事業(B-DASH)にて、熊本市・日本下水道事業団・タクマ共同研究体で実証試験を実施し、B-DASH終了後も実証試験を継続し各種データ採取を行った。本稿では、本プロセスの自動運転の最適化を図り実証施設において処理の安定性を検証した結果について報告する。

キーワード：窒素除去, 固定床型アナモックスプロセス, 自動運転最適化, 実規模実証
原稿受付 2019.8.7

EICA: 24(2・3) 96-99

1. はじめに

固定床型アナモックスプロセス(以下、本プロセス)は、国土交通省B-DASHプロジェクト(以下、B-DASH)における平成24年度採択技術の一つで、熊本市東部浄化センター内に実規模実証施設(以下、本実証施設)を建設し、嫌気性消化汚泥脱水ろ液(以下、脱水ろ液)からの窒素除去を目的とする実証試験を開始した。平成24, 25年度におけるB-DASHの研究成果により、国土交通省国土技術政総合研究所(以下、国総研)から技術導入に係るガイドライン『固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術導入ガイドライン(案)』¹⁾が発刊され、国総研HP上で公開されている。B-DASH終了後の平成26年度以降も、熊本市・日本下水道事業団・株式会社タクマによる共同研究を継続して実施し、本プロセスのさらなる低コスト化や安定化を目的とする検討を行なっている^{2,3)}。

本プロセスの低コスト化を図るにあたり、維持管理における人件費や計測機器費を削減することは有効な手段である。本プロセスの自動運転化は維持管理における人件費削減に資するものであるが、そこではより少ない計測機器点数で安定的に運転を維持できることが求められる。本プロセスの運転では、水温制御やpH制御、また送风量制御等、一般的な自動制御手法を用いるが、水量比率制御については本プロセス特有の手法となる。本稿では、本プロセスの自動制御運転

の中でも水量比率制御の最適化を図り実証施設において処理の安定性を検証した結果について報告する。

2. 実験装置および実験方法

2.1 実証施設

本研究は、B-DASHにて熊本市東部浄化センター(現有施設能力138,300 m³/日)内に設置した固定床型アナモックスプロセスの実規模実証施設¹⁾を用いて行なった(Photo. 1)。処理対象は当浄化センターで発生する嫌気性消化汚泥をスクリーンプレスで脱水した脱水ろ液で、定格処理水量は50 m³/日である。

本実証施設の概略フローをFig. 1に示す。本プロセスは、前処理工程、部分亜硝酸化工程、アナモックス工程で構成される。前処理工程は、原水の水量・水



Photo. 1 Demonstration plant

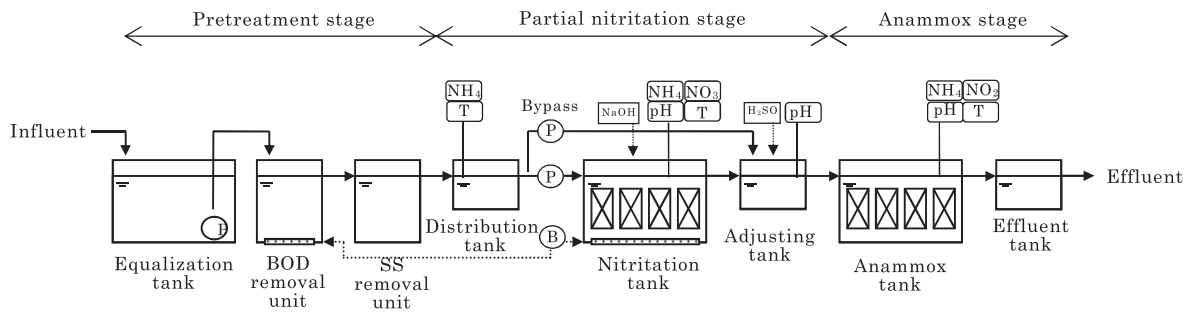


Fig. 1 Schematic flow of demonstration plant

質変動の平滑化および BOD・SS 濃度の低減を目的として設置した。部分亜硝酸化工程では、固定床の亜硝酸化槽にてアンモニア性窒素 (NH₄-N) を亜硝酸性窒素 (NO₂-N) へ変換すると同時に、処理状況に応じてバイパス水の水量を調整し、調整槽にて後段のアナモックス工程へ供給する流入水の NO₂-N と NH₄-N の濃度比率 (NO₂-N/NH₄-N 比) を適正に調整する。アナモックス工程では、NO₂-N/NH₄-N 比の調整を行なった流入水を固定床のアナモックス槽へ供給し、アナモックス反応を利用して窒素除去を行なう。

2.2 自動運転方法

これまでの研究では、①水温制御、②pH 制御、③送风量制御、④水量比率制御について自動制御運転を行ってきた。①は亜硝酸化槽並びにアナモックス槽の水温維持のため、前段の分配槽の原水が所定の水温になるように、加温用循環ポンプを自動で稼働させて熱交換器にて原水を加温した。加温用の温水は当浄化センターの消化槽加温用温水の一部を利用した。②は亜硝酸化槽並びに調整槽 (アナモックス槽流入水) の pH 維持のため、亜硝酸化槽では硝化 (亜硝酸化) 反応のために pH が低下した際に苛性ソーダ (25%) を自動で添加して pH を 7.8 程度に調整し、調整槽ではアナモックス槽内の pH が適正な範囲に維持されるように硫酸 (50%) を自動で添加して pH を 7.3 程度に調整した。③は亜硝酸化槽における過剰曝気による硝化進行を防ぐため、亜硝酸化槽内の NH₄-N が適正量残るように送风量を自動で制御した。具体的には、分配槽および亜硝酸化槽に設置した水質 (NH₄-N) センサの計測値より算出した亜硝酸化槽内の NH₄-N 残留率に基づいた自動制御を実施した。④はアナモックス反応による窒素除去を効率的に行なうため、アナモックス槽に供給される原水の NO₂-N/NH₄-N 比率がアナモックス反応における化学量論的な NO₂-N/NH₄-N 比率 (約 1.32) に近づくように自動で制御した。具体的には、調整槽に設置した水質 (NH₄-N および NO₂-N) センサの計測値より NO₂-N/NH₄-N 比率を演算し同槽の NO₂-N/NH₄-N 比率が 1.32 程度になるように、亜硝酸化槽の処理状況に

応じてバイパス水の水量並びに亜硝酸化槽流入水量を自動で調整した。

本研究では、上記の自動制御運転の中でも水量比率制御に関して最適化を行なった結果を基に、平成 29 年 6 月から 12 月までの期間で試験を行なった。上記 ①～③についてはこれまで同様の制御とし、④については調整槽に設置した水質 (NH₄-N および NO₂-N) センサの計測値を用いる代わりに、分配槽および亜硝酸化槽の水質センサ計測値より調整槽における NO₂-N/NH₄-N 比率を推定し同様の制御を行なった。これにより、自動制御運転のための計測機器点数を削減することが可能となる。これらの自動運転を長期間継続し、その際の処理状況および処理の安定性を評価した。

2.3 評価方法

処理性能を評価する上で使用する主な指標を以下に定義する。ここでは、有機性窒素の関与は無視して総無機性窒素 (T-IN) 除去率を窒素除去率と見なす。

(1) 亜硝酸化槽

$$\text{亜硝酸生成率 (\%)} = \frac{C_{\text{NO}_2\text{-NOUT}} - C_{\text{NO}_2\text{-NIN}}}{C_{\text{NH}_4\text{-NIN}}} \times 100$$

C_{NO₂-NIN} : 亜硝酸化槽流入水 NO₂-N 濃度

C_{NO₂-NOUT} : 亜硝酸化槽流出水 NO₂-N 濃度

$$\text{硝酸生成率 (\%)} = \frac{C_{\text{NO}_3\text{-NOUT}} - C_{\text{NO}_3\text{-NIN}}}{C_{\text{NH}_4\text{-NIN}}} \times 100$$

C_{NO₃-NIN} : 亜硝酸化槽流入水硝酸性窒素 (NO₃-N) 濃度

C_{NO₃-NOUT} : 亜硝酸化槽流出水 NO₃-N 濃度

(2) アナモックス槽

$$\text{窒素転換率 (\%)} = \left(1 - \frac{C_{\text{NH}_4\text{-AOUT}} + C_{\text{NO}_2\text{-AOUT}}}{C_{\text{NH}_4\text{-AIN}} + C_{\text{NO}_2\text{-AIN}}} \right) \times 100$$

C_{NH₃-AIN} : アナモックス槽流入水 NH₄-N 濃度

C_{NH₄-AOUT} : アナモックス槽流出水 NH₄-N 濃度

C_{NO₂-AIN} : アナモックス槽流入水 NO₂-N 濃度

C_{NO₄-AOUT} : アナモックス槽流出水 NO₂-N 濃度

(3) プロセス全体

$$\text{窒素除去率 (\%)} = \left(1 - \frac{C_{\text{TIN.POUT}}}{C_{\text{TIN.PIN}}}\right) \times 100$$

$C_{\text{TIN.PIN}}$: プロセス原水 T-IN 濃度

$C_{\text{TIN.POUT}}$: プロセス処理水 T-IN 濃度

3. 実験結果および考察

3.1 自動運転の検討

試験期間における亜硝酸化槽の窒素濃度および窒素転換率（亜硝酸生成率，硝酸生成率）の推移を Fig. 2 に示す。原水（亜硝酸化槽流入水）の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は 571~709 mg-N/L（平均：648 mg-N/L）で，流入窒素負荷は 1.89~2.37 kg-N/(m^3 -担体・日)であった。この期間，亜硝酸化槽の流出水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度は 500~614 mg-N/L であり，82~92% の亜硝酸生成率が安定して得られた。亜硝酸生成速度は 1.67~2.03 kg-N/(m^3 -担体・日)が得られた。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の生成はほとんど見られず（硝酸生成率：2~4%），安定した亜硝酸化処理が維持された。

この時の水量比率制御は，分配槽および亜硝酸化槽の水質センサ計測値を用いて調整槽における $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ 比率を演算して行なった。水量比率自動制御運転を行なった結果，バイパス水の水量は 25~29 m^3 /日，亜硝酸化槽の処理水量は 40~47 m^3 /日の範囲で制御され，この時の調整槽における $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ 比率は 1.10~1.38 となった (Fig. 3)。これは，過去の水量比率自動制御運転時の結果 (1.17~1.31) とほぼ同等の挙動を示し，この運転方法が有効であることが示唆された。

3.2 処理の安定性

アナモックス槽の窒素濃度および窒素転換率の推移を Fig. 4 に示す。アナモックス槽の流入水 $\text{NH}_4\text{-N}$ ， $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度はそれぞれ 168~231，207~262 mg-N/L で，流入窒素負荷は 4.60~5.46 kg-N/(m^3 -担体・日)であった。同槽内におけるアナモックス反応により，流出水 $\text{NH}_4\text{-N}$ ， $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度はそれぞれ 13~45，4~24 mg-N/L となり，90% 以上の窒素転換率が安定して得られた。この時，窒素転換速度は 4.20~5.02 kg-N/(m^3 -担体・日)が得られた。

水量比率自動制御運転を含む，自動運転を行なったこの期間，本プロセス全体としては，80% 程度の窒素除去率が得られ (Fig. 5)，自動運転の最適化においても安定した処理性能が維持できることが確認された。

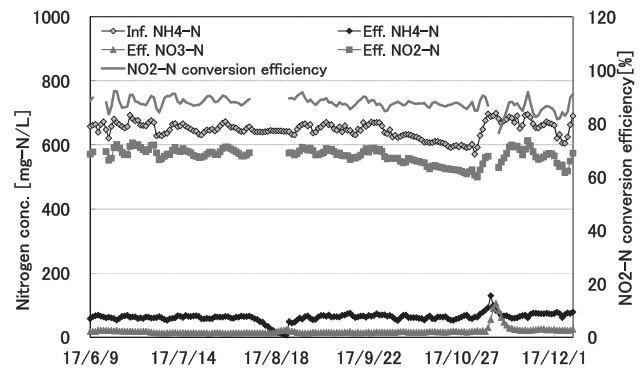


Fig. 2 Time courses of nitrogen concentrations and nitrogen conversion efficiency in nitrification tank

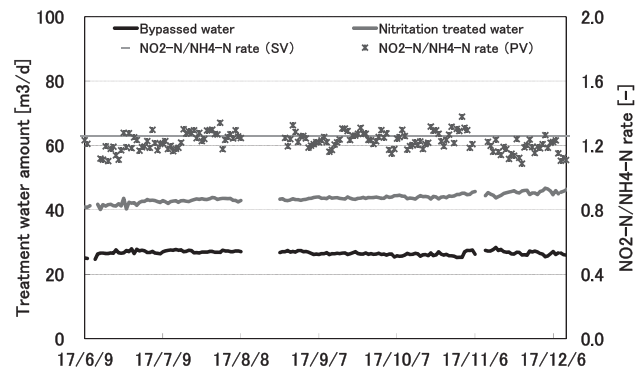


Fig. 3 Time courses of treatment water amount and $\text{NO}_2\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ rate in adjusting tank

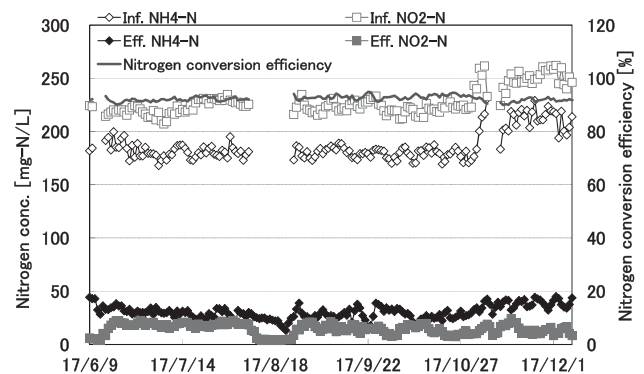


Fig. 4 Time courses of nitrogen concentrations and nitrogen conversion efficiency in anammox tank

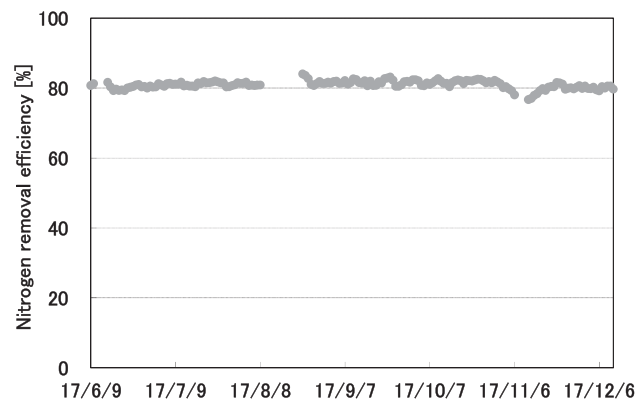


Fig. 5 Time courses of nitrogen removal efficiency in whole process

4. ま と め

下水処理場の嫌気性消化汚泥脱水ろ液からの窒素除去を目的とする実証試験において、固定床型アナモックスプロセスの自動運転の最適化について検討し、以下の成果を得た。

- ・計測機器点数を削減した水量比率自動制御運転においても、従来の水量比率自動制御運転時の結果とほぼ同等の挙動を示し、この運転方法が有効であることが示唆された。
- ・本プロセス全体としては、80%程度の窒素除去率が得られ、自動運転の最適化においても安定した処理性能が維持できることが確認された。

謝 辞

本研究の実施にあたり、実証施設を貸付して頂いた国土交通省国土技術政策総合研究所、ならびに共同研

究体の構成員である熊本市、日本下水道事業団の関係各位に感謝の意を表します。また、ご指導を頂いた熊本大学名誉教授 古川憲治先生に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：B-DASH プロジェクト No.3 固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術導入ガイドライン（案），国土技術政策総合研究所資料 No.802（2014）
- 2) 高木啓太，久留須太郎，森本昌博，福田政昭，糸川浩紀，橋本敏一：固定床型アナモックスプロセスの低コスト化に向けた運転条件の検討，第52回下水道研究発表会講演集，pp.830-832（2015）
- 3) 高木啓太，土井知之，渡邊陽一，福田政昭，糸川浩紀，橋本敏一：固定床型アナモックスプロセスの低コスト化運転における処理性能，第53回下水道研究発表会講演集，pp.968-970（2016）