

本編

第1章 総則

- 目的 ○ガイドラインの適用範囲
- ガイドラインの構成 ○用語の定義

◆下水道事業における大幅なコスト縮減や省エネルギー・創エネルギー効果の増大に寄与するため、革新的技術の「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」について、実証研究の成果を踏まえて技術的事項を明らかにし、導入を促進。
 ◆本ガイドラインは、地方公共団体などの下水道事業者が本技術の導入を検討する際に参考にできるように、技術の概要と評価(第2章)、導入検討(第3章)、計画・設計(第4章)、維持管理(第5章)などに関する技術的事項についてとりまとめたもの。

技術の概要・特徴の把握

第2章 技術の概要

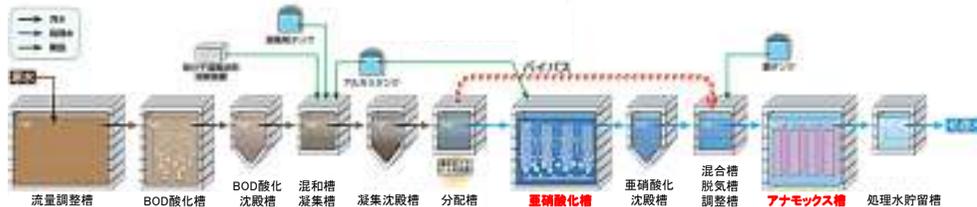
- 技術の概要 ○適用条件 ○実証研究に基づく評価の概要

◆「アナモックス」・・・無酸素条件下でアンモニア性窒素と亜硝酸性窒素が窒素ガスへ変換される新しい生物学的反応。
 反応式： $NH_4^+ + 1.32NO_2^- + 0.066HCO_3^- + 0.13H^+ \rightarrow 1.02N_2 + 0.26NO_3^- + 0.066CH_2O_{0.5}N_{0.15} + 2.03H_2O$ (Strous et al., 1998)
 ◆「アナモックスプロセス」・・・アナモックス反応を利用して排水中の窒素(アンモニア性窒素)を除去するプロセス。
 アンモニア性窒素の一部を亜硝酸性窒素に変換する「部分亜硝酸化工程」と、アナモックス反応を利用して窒素を除去する「アナモックス工程」を組み合わせたプロセス。



【技術の概要】(§ 6, 7)

「固定床型アナモックスプロセス」は、主たる処理機能を担う亜硝酸化槽およびアナモックス槽を別個に備えた2槽式のアナモックスプロセスで、それぞれに菌体保持のための固定床担体を使用。また、アナモックス槽へ流入するNO₂-N/NH₄-N比の調整方法としてバイパス方式を適用。



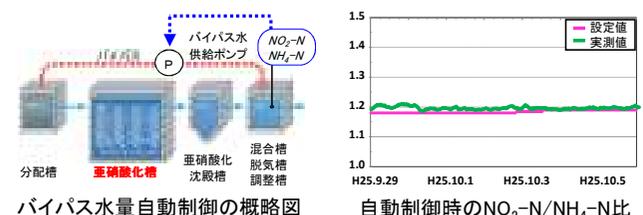
前処理工程	部分亜硝酸化工程	アナモックス工程
流入負荷量の調整/平滑化。 原水中の有機物濃度、SS濃度を低減。	アンモニア性窒素の一部を亜硝酸性窒素に変換。	アンモニア性窒素と亜硝酸性窒素を窒素ガスに変換。

各生物反応槽の固定床担体



バイパス方式によるNO₂-N/NH₄-N比の調整方法(水量自動制御方法)

混合・脱気・調整槽にて計測したNO₂-N濃度とNH₄-N濃度よりNO₂-N/NH₄-N比を算出し、その算出値が設定した範囲内に維持されるように、分配槽からのバイパス水量を自動で制御して、NO₂-N/NH₄-N比を安定的に維持。



【技術の特徴】(§ 8)

アナモックスプロセスは、従来の窒素除去法(生物学的硝化・脱窒法など)に比べ、低コストで省エネルギーな窒素除去が可能。

アナモックスプロセス(本技術も含む)

- ・曝気動力を削減。
- ・脱窒のための有機物の添加が不要。
- ・施設の設置スペースを縮小。
- ・汚泥発生量を削減。

固定床型アナモックスプロセス(本技術)

- ・処理の安定性が高い。

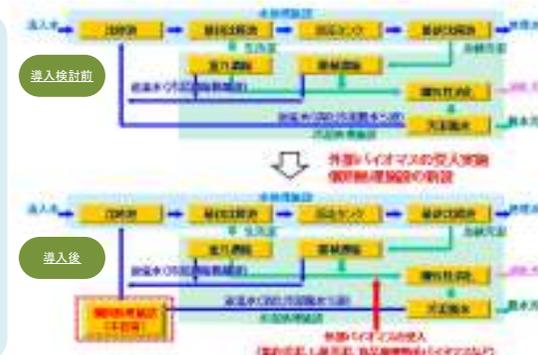
【適用条件】(§ 9, 10)

本技術は、窒素(アンモニア性窒素)濃度が高く、かつ窒素濃度に対して有機物濃度が低い(C/N比が小さい)排水の処理に有効で、下水処理場における嫌気性消化汚泥の脱水ろ液に含まれるアンモニア性窒素の除去に適用。
 ※アンモニア性窒素濃度が低い排水では亜硝酸化反応が安定しない可能性があるため、300mg-N/L以上であること。

本技術の導入シナリオ例

- ①嫌気性消化が導入されているが、返流水個別処理施設を有しない場合。
- ②汚泥処理に嫌気性消化を導入する場合。
- ③外部からバイオマスなどを受入れる場合。
- ④既存の返流水個別処理施設(従来技術)を再構築する場合。

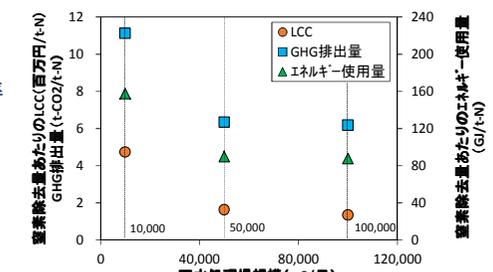
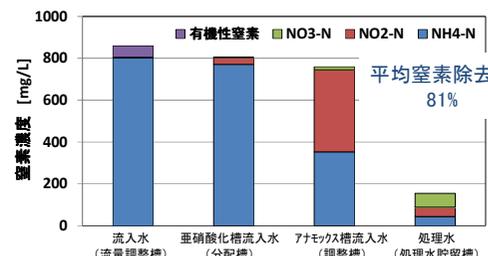
本技術を返流水個別処理として導入することで消化槽由来の窒素負荷量を低減し、放流水窒素濃度の低減・安定化を図る。



導入シナリオ例③のイメージ

【技術の評価結果】(§ 11, 12, 資料編)

・プロセス全体の窒素除去率として、いずれの季節でも平均80%以上を達成(下左図)。窒素濃度が異なる脱水ろ液(※ベルトプレスとスクリープレスの脱水機種の違い)でも同様の窒素除去性能を達成。
 ・返流水個別処理への本技術導入時の窒素除去量あたりのライフサイクルコスト(LCC)、温室効果ガス(GHG)排出量、エネルギー使用量を試算。



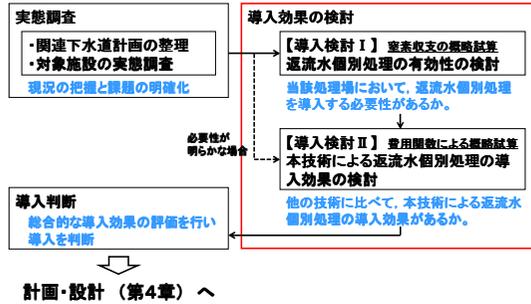
窒素除去量あたりのLCC, GHG排出量, エネルギー使用量の試算結果

導入効果の把握

第3章 導入検討

- 導入検討手法
- 導入効果の検討例

【導入検討手順】(§ 13)



- ◆実態調査(§ 14): 下水処理場の計画年次にて想定される情報を収集・整理した上で窒素除去に関する課題を抽出し、返流水個別処理を導入する意義・目的を明確化。
- ◆導入効果の検討(§ 15): 本技術を導入する有効性について、返流水個別処理を導入する有効性の検討(導入検討Ⅰ)と、従来技術との比較による本技術の導入効果の検討(導入検討Ⅱ)を2段階で確認。
- ◆導入判断(§ 16): 本技術の導入に係る意思決定を行い、返流水個別処理施設の計画・設計に移行。

【導入効果の検討手法】(§ 15)

本技術を導入する有効性について、以下の2段階で確認。

- 導入検討Ⅰ…下水処理場全体を見た時の返流水個別処理の導入効果を検討(←水処理施設への流入窒素負荷量や放流水T-N濃度の低減効果を試算)。
- 導入検討Ⅱ…返流水個別処理における本技術の導入効果を検討(←本技術の導入に係るコスト、GHG排出量、エネルギー使用量を費用関数などを用いて概算し、従来技術の導入と比較して導入効果を検証)。

【導入効果の検討例】(§ 17, 18)

◆導入検討Ⅰ(§ 17): 流入下水水量50,000m³/日の下水処理場に外部バイオマス(濃縮汚泥)を受入れる場合の当該処理場の水質改善効果を検討。

導入対象の下水処理場の状況	返流水窒素負荷量 (kg-N/日)	初流入水窒素負荷量 (kg-N/日)	放流水 T-N濃度 (mg-N/L)	個別処理導入前後の T-N濃度低減量 (mg-N/L)
現状 ・消化槽なし ・バイオマス受入なし ・返流水個別処理なし	123	1,623	8.7	-
シナリオ① ・消化槽導入 ・バイオマス受入あり ・返流水個別処理なし	870	2,370	12.2	-
シナリオ② ・消化槽導入 ・バイオマス受入あり ・返流水個別処理導入	292	1,792	9.2	-3.0

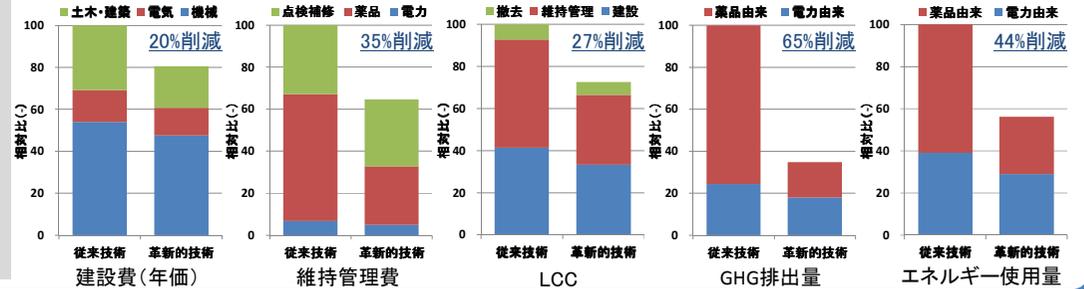
◆導入検討Ⅱ(§ 18): 流入下水水量50,000m³/日の下水処理場に本技術を導入した際の従来技術導入と比較した場合の導入効果を検討。

項目	従来技術	本技術	削減率(%)
建設費(総額)	百万円 1,170	917	22
維持管理費	百万円/年 84	56	33
ライフサイクルコスト	百万円/年 164	123	25
温室効果ガス排出量	t-CO ₂ /年 1,320	480	64
エネルギー使用量	GJ/年 1.17 × 10 ⁴	6.81 × 10 ³	42

※積上げによる試算結果(下記)とほぼ同等であることから、費用関数などによる概算の妥当性を確認。

【参考 返流水個別処理施設の建設・運転に係る試算結果(※積上げによる試算結果)】

- ◆試算条件
処理場規模(流入下水水量): 50,000m³/日
処理対象: 嫌気性消化汚泥脱水ろ液
処理水量: 235m³/日
想定水質: 物質収支計算より算出
T-N 1,060mg/L, NH₄-N 1,000mg/L
C-BOD 231mg/L, SS 940mg/L
- ◆比較対象技術(従来技術)
担体添加ステップ流入式2段硝化脱窒法
※前処理設備を含む

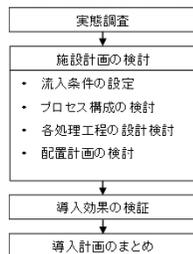


導入可能性を判断のうえ、導入に向けた具体的な検討に進む

第4章 計画・設計

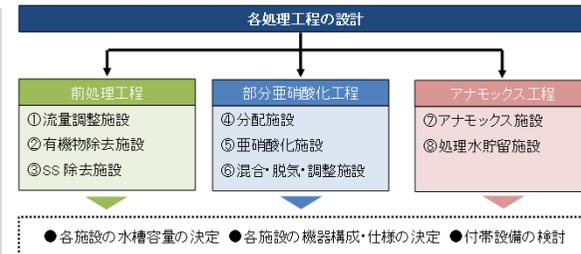
- 導入計画
- 各処理工程の設計
- 設計に係る留意事項
- 計装制御

【導入計画手順】(§ 19)



- ◆実態調査(§ 20): 設計検討に先立ち、周辺設備の運転状況や水量・水質性状など、施設・設備の計画・現状を把握。
- ◆施設計画の検討(§ 21): 流入条件を設定し、プロセス構成を検討・決定。その上で各処理工程の設計検討。
- ◆導入効果の検証(§ 22): 第3章で試算した導入効果が得られるか検証。
- ◆導入計画のまとめ(§ 23): 本技術の導入について導入計画書などとしてとりまとめ。

【各処理工程の設計概要】(§ 24~37)

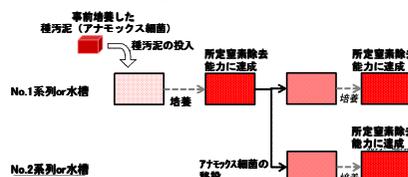


- ◆亜硝酸化施設(§ 30)
・必要担体容量の算出
・槽容量の決定
・槽構造の決定, その他
- ◆アナモックス施設(§ 32)
・必要担体容量の算出
・槽容量の決定
・槽構造の決定, その他

第5章 維持管理

- 技術の維持管理

【アナモックス槽の立上げ手順】(§ 38)



- ◆増殖速度が小さい細菌を用いるアナモックス槽の立上げが律速となるため、アナモックス槽を主眼とした手順で実施。
- ◆窒素負荷量を低負荷量から段階的に上げ所定の窒素除去能力に到達するまで培養して立上げを実施。

【部分亜硝酸化工程の監視・測定項目例】(§ 39)

監視・測定項目	監視・測定箇所	監視・測定方法	頻度	目的
NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N	亜硝酸化施設	現場計測器	連続	水質および運転状況の把握
NO ₂ -N/NH ₄ -N比	調整施設	計測器による演算	連続	NO ₂ -N/NH ₄ -N比の監視

【トラブルシューティング】(§ 41)

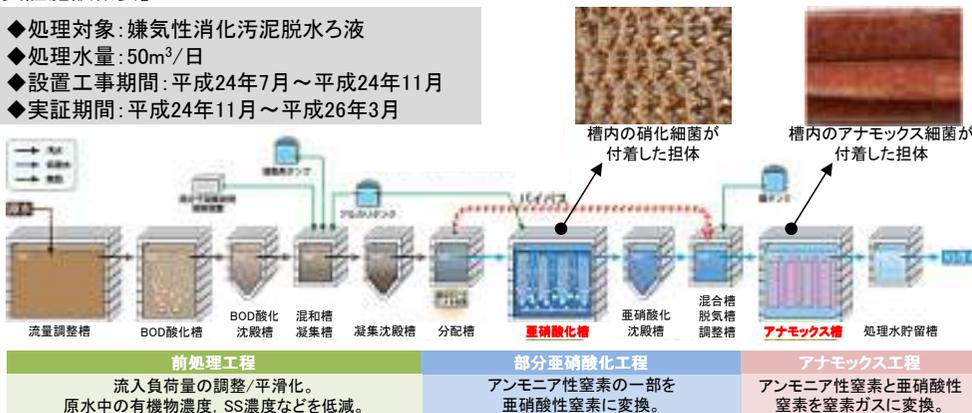
本技術の運転において発生し得るトラブルに対してその影響を事前に想定し、トラブル発生時の対処法をとりまとめ。※実証施設で発生したトラブル事例を抜粋して資料編に記載。

【実証研究概要】

- ◆研究名称: 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に関する技術実証研究
- ◆実施者: 熊本市・地方共同法人日本下水道事業団・株式会社タクマ 共同研究体
- ◆実施期間: 平成24年6月～平成26年3月
- ◆実施場所: 熊本市東部浄化センター
- ◆実施目的: 汚泥処理の返流水等からの窒素除去に固定床方式を用いた高効率なアナモックスプロセスを適用し、コスト削減効果や省エネルギー効果等に関する実証研究を実施。

【実証施設概要】

- ◆処理対象: 嫌気性消化汚泥脱水ろ液
- ◆処理水量: 50m³/日
- ◆設置工事期間: 平成24年7月～平成24年11月
- ◆実証期間: 平成24年11月～平成26年3月



【実証施設写真】



【トラブルシューティング例】

実証施設で発生したトラブル事例のうち、発生しやすいトラブルについて、その影響および対処方法、ならびに対処後の結果を以下に記載。ガイドライン本編(§41)では、その他想定されるトラブル事例についても記載。

実証施設で発生したトラブルの例	影響	対処方法	対処後の結果
脱水ろ液	<ul style="list-style-type: none"> ・過曝気による亜硝酸化槽の機能低下。 ・基質不足にともなうアナモックス槽の機能低下。 	<ul style="list-style-type: none"> ・亜硝酸化槽の間欠曝気を実施。 ・流入停止条件の運転方法に切り換え。 	<ul style="list-style-type: none"> ・週末などを想定した3日間の脱水ろ液の流入停止では亜硝酸化槽、アナモックス槽ともに、速やかに復旧を確認。
部分亜硝酸化工程	<ul style="list-style-type: none"> ・窒素除去率の低下。(アナモックス槽におけるNH₄-Nの残留) 	<ul style="list-style-type: none"> ・運転条件の乖離があれば再調整。 ・点検用担体サンプルを目視にて確認。 ・曝気量を調整。 ・担体洗浄の頻度を上げ、それでも回復しない場合は曝気量抑制運転を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ・亜硝酸化率の低下時は担体洗浄を実施し、速やかに回復を確認。 ・担体洗浄後の回復が見られない場合は、曝気量抑制運転を実施することで回復を確認。
アナモックス工程	<ul style="list-style-type: none"> ・処理機能の低下。(NO₂-N濃度による阻害) 	<ul style="list-style-type: none"> ・速やかに原因を調査し、流入NO₂-N/NH₄-N比の設定変更、内部循環などを実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ・残留NO₂-N濃度の増加時は処理水の内部循環(調整槽への返送)を実施することで、流入濃度を低減させてアナモックス槽の機能低下を防止。

【実証研究結果】

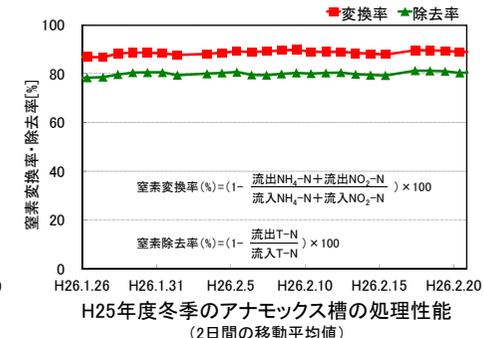
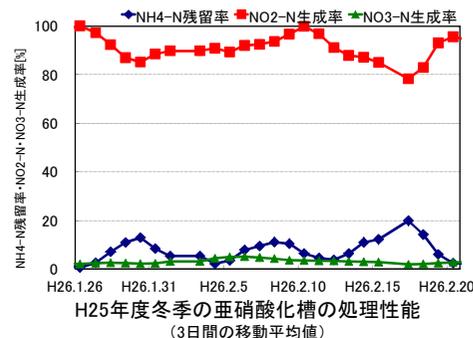
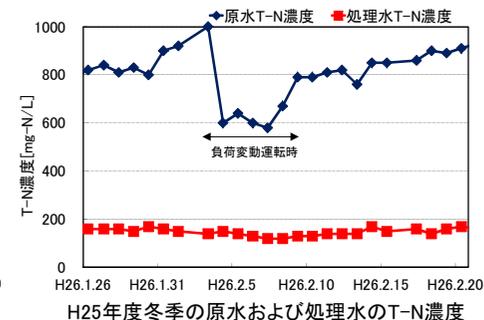
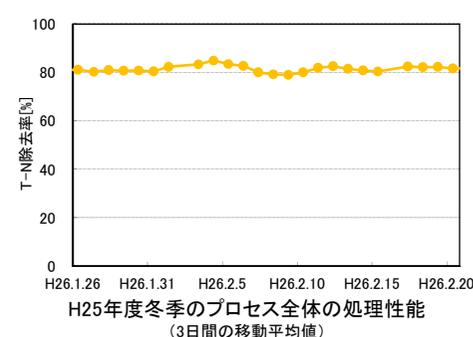
実証研究の設定目標と結果まとめ

設定項目	設定目標	結果
実証施設	プロセス全体として窒素除去率70%以上を安定して維持すること。	各季節の詳細調査期間において、T-N除去率平均80%以上を達成。
前処理工程	部分亜硝酸化工程に流入するBOD濃度およびSS濃度をそれぞれ100mg/L以下に安定して維持すること。	部分亜硝酸化工程に流入するBOD濃度およびSS濃度をそれぞれ100mg/L以下に安定して維持。ただし、原水のBOD濃度は概ね100mg/L以下の低濃度での運転。
部分亜硝酸化工程	亜硝酸化槽におけるNO ₂ -N生成率80%以上、NO ₃ -N生成率5%以下を安定して維持すること。	各季節の詳細調査期間において、一時的に目標を下回ることもあったが、概ね安定した運転を継続。
アナモックス工程	NO ₂ -N/NH ₄ -N比およびNO ₂ -N濃度を適切に維持し、アナモックス槽の運転を安定して維持すること。	NO ₂ -N/NH ₄ -N比およびNO ₂ -N濃度を適切に維持し、アナモックス槽の窒素変換率85%以上を達成。

実証施設の処理水質および処理性能

項目		H24年度冬季 (H25.2.11～2.16)	H25年度夏季 (H25.8.28～10.8)	H25年度秋季 (H25.10.29～12.11)	H25年度冬季 (H26.1.25～2.21)
原水T-N濃度	mg-N/L	360～430 (393)	540～790 (663)	591～719 (673)	760～1,000 (860)
処理水T-N濃度	mg-N/L	57～78 (69)	84～130 (114)	103～164 (135)	130～170 (154)
T-N除去率	%	80.7～82.7 (81.8)	77.3～87.2 (82.6)	78.0～83.9 (80.0)	80.1～83.2 (81.4)

※()の数値は平均値を表す。 ※秋季データはT-IN(総無機性窒素)の数値を表す。



その他

- ◆窒素濃度が変動した場合でも窒素除去性能80%程度を維持。
- ◆亜硝酸化槽の処理性能が低下した場合、担体洗浄を実施することで速やかに回復することを確認。
- ◆脱水機由来の高分子凝集剤の流入によるアナモックス槽の処理性能低下時、アナモックス槽の窒素ガス洗浄により回復することを確認。