

ステップ流入式多段硝化脱窒法の 技術評価に関する報告書

平成 14 年 5 月

日本下水道事業団 技術評価委員会

ステップ流入式多段硝化脱窒法の技術評価について

閉鎖水域の富栄養化防止と水質環境基準の達成に向けて、下水処理場に初めて栄養塩類除去の高度処理プロセスの施設が導入されたのは昭和57年度であった。

下水からの栄養塩類除去は当時の下水道事業にとって新しい技術であり、日本下水道事業団理事長は昭和59年11月に、本委員会に対して下水の栄養塩類除去に関する技術の現状を調査し、評価すべく諮問を行った。これを受けて、本委員会では昭和61年度から平成2年度にかけて、「微生物を利用した窒素及びリン除去プロセスの評価」に関する第1次～第3次報告書を取りまとめ、理事長に報告した。このうちの二報告書は窒素除去に関するものであった。

包括固定化担体を利用した硝化促進型循環変法「ペガサス」による窒素除去法が技術開発部と民間企業によって開発され、本委員会は平成4年10月に理事長からその技術評価についての諮問を受けた。この技術は反応タンク容量の大幅な縮小が期待できる特徴があり、本委員会では平成5年4月に報告書をまとめて理事長に報告した。

その後、低コストで高率の窒素除去が期待できるステップ流入式多段硝化脱窒法が技術開発部によって提案され、今までにいくつかの下水処理場で採用されてきた。これを受けて実施設計の設計及び運転管理手法などを体系的にまとめた本技術の評価が望まれることになり、本委員会は平成12年11月に理事長からこのことに関して諮問を受けた。

本委員会は3ヶ所の実施設と2ヶ所のパイロットプラントでの実態調査をもとにこの技術の評価対象範囲を定め、流入水が反応タンクに流入し、最終沈殿池から流出するまでについて、その窒素除去特性、施設の設計及び運転管理の留意事項を中心としたこの技術の評価を行って報告書を取りまとめた。

本報告書がステップ流入式多段硝化脱窒法の現状での施設設計と運転管理がスムーズに行われるために広く利用され、さらに今回の報告を第1歩として当該技術の改良が加えられていき、わが国の下水処理場で将来にわたってますます必要になっていく下水の窒素除去が、本法の実用化と技術のさらなる改善によって有意義に進められていくことを期待するものである。

平成 14 年 5 月 9 日

日本下水道事業団技術評価委員会
会長 柏谷 衛

審議の経過

平成 12 年	11 月	2 日	第 41 回技術評価委員会
平成 13 年	2 月	14 日	第 27 回水処理専門委員会
平成 13 年	3 月	15 日	第 42 回技術評価委員会
平成 13 年	9 月	21 日	第 28 回水処理専門委員会
平成 13 年	11 月	2 日	第 43 回技術評価委員会
平成 14 年	2 月	1 日	第 29 回水処理専門委員会
平成 14 年	3 月	20 日	第 44 回技術評価委員会

委員の構成

(平成14年3月20日現在)

技術評価委員会

会 長	柏谷 衛	東京理科大学理工学部土木工学科教授
委 員	藤田 正憲	大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻教授
委 員	松尾 友矩	東洋大学国際地域学部国際地域学科教授
委 員	田中 和博	日本大学理工学部土木工学科教授
委 員	楠田 哲也	九州大学大学院工学研究院環境都市部門教授
委 員	曾小川 久貴	国土交通省都市・地域整備局下水道部長
委 員	中村 栄一	国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部長
委 員	酒井 憲司	仙台市下水道局長
委 員	鈴木 宏	東京都下水道局長
委 員	中嶋 靖夫	横浜市下水道局長
委 員	赤井 仁孝	大阪市都市環境局長
委 員	谷口 尚弘	社団法人日本下水道協会技監
委 員	横山 博一	日本下水道事業団理事
旧委員	後藤 健三	仙台市下水道局長
旧委員	横山 博一	東京都下水道局長
旧委員	中村 芳之	横浜市技監兼下水道局長
旧委員	西口 勇	社団法人日本下水道協会理事兼技術部長
旧委員	阿久津 赴	日本下水道事業団理事

(旧委員の所属職名は委員委嘱当時のもの)

水処理専門委員会

委員長	田中 和博	日本大学 理工学部土木工学科教授
委員	古米 弘明	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻教授
委員	森山 克美	九州共立大学工学部土木工学科教授
委員	高島 英二郎	国土交通省都市・地域整備局下水道部流域下水道計画調整官
委員	鈴木 穰	独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ 上席研究員
委員	阪本 哲	愛知県建設部水道課 主査
委員	岡崎 文夫	岡山県土木部都市局下水道課 課長補佐
委員	蟻坂 和雄	仙台市下水道局施設部施設管理課 主幹兼施設係長
委員	三神 景信	日本下水道事業団 計画部設計役
委員	高田 治夫	日本下水道事業団 工務部次長
委員	大嶋 吉雄	日本下水道事業団 技術開発研修本部 技術開発部長
旧委員	岩本日出雄	日本下水道事業団 工務部次長

(旧委員の所属職名は委員委嘱当時のもの)

目次

(技術評価の経緯)	1
(技術評価の目的)	2
(評価対象技術と範囲)	2
(技術の特徴)	3
(除去特性)	4
(施設設計上の留意事項)	5
(運転管理上の留意事項)	6
(建設費および運転管理費)	7

(技術評価の経緯)

湖沼等の閉鎖性水域における富栄養化問題が顕在化するにつれ、そこへ処理水を放流する下水処理場に対して窒素およびりんを除去することが求められるようになった。

このため、本委員会では、昭和 59 年 11 月に出された日本下水道事業団理事長の諮問に応じて、実施設等における調査結果に基づき、単段の活性汚泥循環変法による窒素除去、嫌気-好気活性汚泥法によるりん除去、二段式活性汚泥循環変法による窒素除去について、除去特性等の技術的な検討を行ない、「微生物を利用した窒素及びりん除去プロセスの評価」に関する第 1 次～第 3 次報告書として一連の報告を行なった。

また、その後も窒素除去に対する強い要請が続いたことから、硝化タンクに微生物固定化担体を投入することで反応タンク容量の縮小を図った「ペガサス」法および小規模処理場における代表的なプロセスであるオキシデーションディッチ法における窒素除去について検討を行ない、それぞれ平成 5 年 4 月および平成 12 年 5 月に報告を行なった。

これらの評価により、小規模から大規模まで、また用地的制約の大きい処理場においても適用可能な一連の処理方式に関して、処理特性をはじめとした技術的情報が整理されたことになる。しかし、下水処理場の建設および運転管理に対して一層厳しい経済性が要求されるようになってきていることから、さらに低コストで高い除去性能を達成できる処理技術が必要とされている。

このような背景のもとで、ステップ流入式多段硝化脱窒法が日本下水道事業団により提案され、近年になって実施設への導入事例が増加している。しかし、実施設を中心とした本技術の処理実績を体系的に整理した例は無

く、これを適切に反映した設計手法および運転管理手法の整備が必要とされている。

このような理由から、平成 12 年 11 月、日本下水道事業団理事長より本委員会へ諮問があり、本技術の処理特性、設計手法、運転管理手法等について技術評価を行なうこととなった。

(技術評価の目的)

本技術評価では、実施設を中心とした本技術の処理実績および処理特性を整理するとともに、本技術の施設設計手法および運転管理手法を確立することを目的とする。

(評価対象技術と範囲)

1. 対象技術の定義

ステップ流入式多段硝化脱窒法は、一般の都市下水を対象とした活性汚泥を用いた生物学的窒素除去法の一変法である。本技術評価では、以下の要件を満たすものを評価の対象とする。

- ①脱窒タンクと硝化タンクのユニット（段）を、複数段、直列に配置する。
- ②各タンクは隔壁により独立した完全混合型のタンクとする。
- ③流入水（最初沈殿池越流水または最初沈殿池のバイパス水）を各脱窒タンクへ等量ずつステップ流入させる。
- ④各段に保持される固形物（MLSS）量が等しくなるように各タンク容量を設定する。すなわち、流入水をステップ流入させることから上流の段ほど固形物濃度が高くなるので、それに応じて上流の段ほど反応

タンク容量を小さくする。

- ⑤必要に応じて、各段において硝化タンクから脱窒タンクへ混合液の内部循環を行なう。

2. 評価の範囲

本技術評価では、流入水が反応タンクへ流入し、最終沈殿池から流出するまでの水処理過程を評価の範囲とする。

(技術の特徴)

本技術の特徴は以下のとおりである。

- ①脱窒－硝化工程を多段化しているため、内部循環を行わずとも高い窒素除去率が得られる。内部循環を行わない場合、硝化・脱窒に与かる窒素除去率（流入水の全窒素から、余剰汚泥として排出される窒素および処理水中に有機性窒素として残存する窒素を除いた硝化対象の窒素に対する、硝化・脱窒により除去される窒素の割合）の上限は、理論的には2段式プロセスで67%、3段式プロセスで78%となる。
- ②内部循環を行なうことで窒素除去率の更なる向上が期待できる。内部循環比として0.5を見込むと、硝化・脱窒に与かる窒素除去率の上限は2段式プロセスで75%、3段式プロセスで83%となる。なお、循環にはエアリフト方式を使用し、基本的に循環ポンプは使用しない。
- ③流入水をステップ流入させることから、上流の段ほど固形物濃度が高くなるため最終段の固形物濃度に比較してタンク全体での平均固形物濃度が高くなり、反応タンク容量を縮小できる。
- ④各段に保持される等量の固形物に対して等量の流入水が供給される

ため、各段の固形物当りの負荷が均一化され、各段を同等の運転条件で管理できる。

⑤各タンクを完全混合型としているので、各タンクでの処理状況を把握するのが容易である。

⑥本技術は窒素除去を主体としており、生物学的りん除去を意図したものではない。りん除去の必要がある場合には、同時凝集法により対応することが可能である。

(除去特性)

実施設およびパイロットプラントにおける処理実績を整理した結果は以下のとおりである。なお、これらは全て同時凝集法を併用した施設における処理実績に基づいている。

(1) 有機物 (BOD₅、COD_{Mn}、SS) 除去は良好に行なわれており、処理水の BOD₅ 濃度は概ね 3 mg/l 以下、COD_{Mn} 濃度は概ね 9 mg/l 以下、SS 濃度は概ね 5 mg/l 以下であった。

(2) 内部循環を実施した 2 段式の実施設 (最初沈殿池使用) では、流入水と処理水の全窒素濃度がそれぞれ平均 25 mg/l、6 mg/l で、硝化・脱窒に与かる窒素除去率は平均 69% であった。

(3) 内部循環を実施しない 3 段式のパイロットプラント (最初沈殿池使用) では、流入水と処理水の全窒素濃度がそれぞれ平均 28 mg/l、7 mg/l で、硝化脱窒に与かる窒素除去率は平均 76% であった。一方、内部循環を実施した 3 段式の実施設 (最初沈殿池バイパス) では、流入水と処理水の全窒素濃度がそれぞれ平均 29 mg/l、2.8 mg/l で、硝化・脱窒に与かる窒素除去率は平均 90% であった。

- (4) 処理水中の主たる窒素成分は硝酸性窒素と有機性窒素であり、有機性窒素濃度は概ね 0.5～1.0 mg/l 程度であった。
- (5) 硝化タンクにおいては、溶存酸素が十分に供給され、また好氣的固形物滞留時間 (ASRT) が水温に応じた必要値以上に確保されている運転条件では、0.4～1.8 mgN/(gSS・h)程度の硝化対象窒素負荷に対して、アンモニア性窒素が残留することはなかった。
- (6) 脱窒タンクにおいては、施設によっては硝酸性窒素が残留することがあった。脱窒タンクにおける脱窒速度は、BOD-SS 負荷が 0.02～0.12 kgBOD₅/(kgSS・d)の範囲で、0.6～2.2 mgN/(gSS・h)程度で、流入水 BOD-SS 負荷との間に相関性が見られた一方、水温との間には明白な関係が認められなかった。
- (7) 凝集剤の寄与分を除いた汚泥発生量は、最初沈殿池を使用した場合、反応タンク流入 SS 当り 0.9～1.1 kg/kgSS (処理水量当り 0.04～0.09 kg/m³) 程度、最初沈殿池をバイパスした場合、反応タンク流入 SS 当り 0.8 kg/kgSS (処理水量当り 0.26 kg/m³) 程度であった。
- (8) 活性汚泥の SVI は概ね 200 以下であり、本技術における活性汚泥の沈降性に問題は無いと判断された。

(施設設計上の留意事項)

本技術の施設設計に当っては、以下の点に留意する必要がある。

- (1) 事前に反応タンクおよび最終沈殿池まわりでの窒素の収支を検討し、硝化対象の窒素量および硝化・脱窒に与かる窒素除去率を算出する。
- (2) 多段化の段数は、必要な窒素除去率を満足するように設定するが、系列全体での機器点数が段数および水路数により異なるので、系列内の水

路数の検討を併せて行なう。

- (3) 脱窒タンクと硝化タンク間の隔壁の上部にも開口を設けることでエアリフト効果による内部循環を見込むことができるが、現状では循環流量の定量化が困難なので、段数の設定に際して見込む内部循環比は 0.5 程度とする。
- (4) 内部循環を行なう場合、内部循環が過度になると脱窒タンクへ持ち込まれる溶存酸素により脱窒が影響を受け、窒素除去率が低下する可能性があるため、循環流量はある程度制御可能なものとする。エアリフト循環流量は開口の断面積により変化するので、角落しやゲート等、開口面積を変えられるような構造を設けておく。
- (5) 流入水の窒素濃度に対して有機物濃度が低く ($BOD_5/T-N$ 比が小さい、等) 脱窒が不十分になると見込まれる場合には、最初沈殿池のバイパス、外部基質の投入等、有機物負荷を増加させる措置についても検討する。
- (6) 最終段の MLSS 濃度を設定し、他の段の MLSS 濃度を理論比から求める。
- (7) 硝化タンクの容量は、年間を通して硝化細菌を保持するために必要な ASRT に基づいて算出する。まず、最終段の硝化タンク容量を算出し、これに基づき他の段の硝化タンク容量を理論比から求める。
- (8) 各段の脱窒タンク容量は基本的に硝化タンクと同容量とする。
- (9) 硝化タンクの散気装置には各種が使用可能であるが、エアリフト循環流量や DO 濃度の制御性等も考慮して選定する。

(運転管理上の留意事項)

本技術の運転管理に当たっては、以下の点に留意する必要がある。

- (1) 各段の MLSS 濃度を測定することにより、流入水の分配状況を確認し、偏りがあれば各段に均等に流入するように調整する。
- (2) 硝化を完全に進行させるために、硝化細菌の系内保持に必要な ASRT を確保するための汚泥管理を行なう。
- (3) 硝化タンクにおいては、アンモニア性窒素が残留しない最低限の DO 濃度を確認し、それを管理目標とするとともに、各硝化タンクのアンモニア性窒素を測定することで、硝化の進行状況を確認する。
- (4) 脱窒タンクにおいては、各脱窒タンクの硝酸性窒素を測定することで、脱窒の進行状況を確認する。
- (5) 窒素除去率の向上を意図して内部循環を行なう場合には、全ての段で同程度の循環を行ない、特定の脱窒タンクにおいて、窒素負荷の極端な増大や有機物負荷と窒素負荷の不均衡が生じないようにする。また、内部循環により脱窒タンクへ持ち込まれる溶存酸素により脱窒が影響を受けるので、過度の内部循環は避ける。

(建設費および運転管理費)

本技術では、循環式硝化脱窒法等の活性汚泥を用いた従来の窒素除去法に比べて生物反応タンクの滞留時間を短縮できる。また、循環ポンプも不要であることから、建設費ならびに電力費の削減を見込むことができる。