

II-508

嫌気・無酸素・好気プロセスにおけるリン除去率算定式の適用について

飛島建設（株）正員 ○勝間田 純一郎

東京理科大学 正員 出口 浩，正員 柏谷 衛

1. まえがき 筆者らは，過去に貯水槽付回分式反応槽（以下，回分式装置という）を用い，嫌気・無酸素・好気プロセス（以下，A₂Oプロセスという）の室内実験を実施してきた。A₂OプロセスのT-P除去は槽内に維持される微生物（以下，VSSという）量，硝化液の循環比，流入する有機炭素化合物量に大きく影響を受けることが見いだされてきた¹⁾しかし，これら運転条件の一部である各々のパラメータとしては現象の説明が可能であるが，これらが相互に関連した場合には現象の説明を十分にすることができない。

本研究では，これらの比較的簡単に求められるパラメータをもとに，できる限り簡潔にA₂OプロセスのT-P除去率を推定できないかと考え，A₂OプロセスのT-P除去率を示す算定式を導いた。さらに，室内実験からこの算定式の適用の可能性を検討するとともに，都市下水を用いた実規模施設によるA₂Oプロセス²⁾³⁾のデータの適用を試みた。T-P除去率算定式適用について検討した結果について以下に報告する。

2. T-P除去率の算定式 T-P除去率を示す算定式を導くに当たっては，A₂Oプロセスの嫌気タンク，無酸素タンク，好気タンクをそれぞれ，1，m，n個の小室に区分したセルモデルを用いた。

T-P除去率 η_P を示す算定式を式-

(1)に示す。同式の分子第1項は流入してくるT-P量を表し，第2項は嫌気工程でのT-P放出量を表している。また，式-(1)の分子第3項は無酸素工程での脱窒素に伴い生じるT-P摂取量を表している。さらに，分母は好気工程でのT-P摂取量を表している。また，流入する有機物の利用の形態を調べた実験結果⁴⁾より，T-P摂取速度係数は，T-P摂取を含む細胞の活動エネルギーに利用される有機物量（以下，[E-TOC]量という）に影響されるということが見いだされた。このことから，T-P除去率算定式のT-P摂取を表す項に流入する有機物負荷量を導入した。

以上の各項よりなるT-P除去率 η_P を示す算定式は，BOD容積負荷，VSS濃度および好気タンク滞留時間の積の関数として表すことができた。

3. 算定式検証のための室内実験 実験に使用した回分式装置は，プロペラ型の攪拌機を備えた直径0.3mの円筒型反応槽（容積301）と汚泥かき寄せ機を備えた直径0.3mの円筒型で底部がコーン状になった貯水槽および制御部から構成されている。回分式装置の運転は，嫌気工程90分，無酸素工程30分，好気工程80分，沈殿20分，排水20分とし，1サイクルは合計240分とした。実験に用いた基質は，スキムミルクをベースに，窒素調整剤として塩化アンモニウムおよび尿素を，リン調整剤としてリン酸二水素カリウムを添加し，2種類の濃度の基質を調製した。1種類は高濃度基質とし，BOD(TOC):T-N:T-P=200(106):40:8（単位はmg・l⁻¹）に調製した。他の1種類は低濃度基質とし，その濃度はすべて高濃度基質の1/2とした。

$$\eta_P = 1 - \frac{P_{in} + \varepsilon \cdot S_L \cdot T_{AN}' + \{ -(1+R) \cdot \frac{1}{\phi} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot (1+r_1) \cdot S_L \cdot \frac{V_0}{V_{AO}} \cdot T_{AO} \}}{P_{in} \cdot \{ (1+R) \cdot \exp(\beta \cdot \gamma \cdot V_0 \cdot S_L \cdot X \cdot T_0) - R \}} \quad \text{式-(1)}$$

P_{in} : 流入水T-P濃度 (mg・l⁻¹) ε : $S_L \cdot T_{AN}'$ とT-P放出量の関係より求まる係数 (mgT-P・kgBOD⁻¹・m³・day・hr⁻¹)
 S_L : BOD容積負荷 (kg・m⁻³・day⁻¹) ϕ : T-P単位量を摂取するのに必要なNO_x-N量 (mgNO_x-N・mgT-P⁻¹)
 T_{AN}' : 嫌気形成時間 (hr) α : NO_x-N単位量を脱窒するのに必要なTOC量 (mgTOC・mgNO_x-N⁻¹)
 T_{AO} : 無酸素タンク滞留時間 (hr) β : 摂取されたTOCの内脱窒および細胞合成に消費された以外の割合 (1・gVSS⁻¹・hr⁻¹・mgE-TOC⁻¹)
 T_0 : 好気タンク滞留時間 (hr) γ : K_p と[E-TOC]量の関係より求まる係数 (1・gVSS⁻¹・hr⁻¹・mgE-TOC⁻¹)
 V_{AO} : 無酸素タンク容積 (l)
 V_0 : 好気タンク容積 (l)
 R : 循環比 ($r_1+r_2=R$)
 r_1 : 返送汚泥比
 X : VSS濃度 (g・l⁻¹)

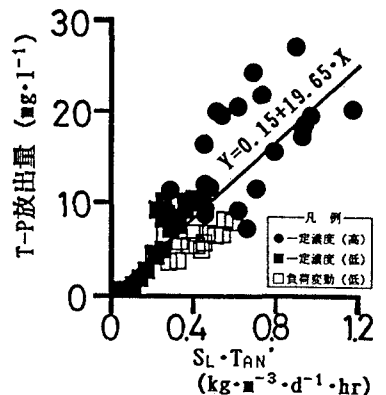


図-1 $S_L \cdot T_{AN}'$ とT-P放出量の関係

実験は、高濃度基質および低濃度基質を用いて流入負荷を一定とした実験、下水処理場の日間負荷変動を想定した実験を行った。いずれの実験においても循環比 R は、 $R=1$ 、 1.4 、 2 、 3 の4段階に設定した。また、反応槽内水温は 24°C 以下にならないようにした。

水質測定項目は、 TOC 、 T-P 、 T-N 、 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ 、 $\text{NO}_x^{-}\text{-N}$ である。

4. 算定式の係数の決定 室内実験の結果を用いて T-P 除去率 η_p を示す算定式の各係数の決定を行った。

〔 BOD 容積負荷〕と〔嫌気形成時間〕の積と T-P 放出量の関係を図-1に示す。同図より両者には良好な直線関係が得られていることが分かる。そこでこの直線の傾きより ε を 19.65 と決定した。

無酸素工程での $\text{NO}_x^{-}\text{-N}$ の脱窒量と T-P 摂取量の関係を図-2に示す。同図より両者には良好な直線関係が得られたのでこの直線の傾きより、 T-P 1mg を摂取するのに必要な $\text{NO}_x^{-}\text{-N}$ 量 ϕ を $1.16(=1/0.86)$ と決定した。

〔 E-TOC 〕量と T-P 摂取速度係数 K_p の関係を図-3に示す。同図より両者には直線関係が得られたのでこの直線の傾きより、 $\gamma=0.002$ と決定した。その他の係数は室内実験結果より、 $r_1=0.2$ 、 $\beta=0.32$ 、 $\alpha=1.5$ と決定した。

5. 算定式の検証 室内実験より求めた各係数を用いて、 T-P 除去率 η_p のシミュレーションを行った。循環比 $R=1$ 、高濃度基質供給の場合および循環比 $R=3$ 、低濃度基質供給の場合のシミュレーション結果を図-4に示す。同図より、高濃度基質供給の場合には $S_L \cdot X \cdot T_0$ が 3.2 以下、低濃度基質供給の場合には $S_L \cdot X \cdot T_0$ が 1.2 以下では T-P 除去率 η_p が 0 であり、その後は両者とも $S_L \cdot X \cdot T_0$ の増加に伴って飽和曲線に近いカーブを描きながら 1 に近づいて行くことが分かる。同図において T-P 除去率 $\eta_p=0$ の部分は、 T-P の摂取は起こるがそれが過剰摂取にならないことを意味している。

次に、室内実験結果と都市下水で行った A_2O プロセスの実規模施設（ A 処理場および B 処理場）の結果より求めた $S_L \cdot X \cdot T_0$ と T-P 除去率 η_p の関係をj用い、算定式の検証を行った（図-5参照）。この場合、黒印（●、■、▲）が高濃度基質供給の場合に対応し、白印（○、□、△）が低濃度基質供給の場合に対応している。同図よりみて、 $S_L \cdot X \cdot T_0$ が $0.3 \sim 6.8$ の範囲で室内実験結果とはほぼ一致し、 A_2O プロセスを用いた実規模施設の結果と $S_L \cdot X \cdot T_0$ が $1.4 \sim 6.4$ の範囲ではほぼ一致していることが分かる。

〔参考文献〕1)出口、柏谷、日下：粒子状媒体添加室内回分式処理装置による嫌気・無酸素・好気プロセスの実験、水質汚濁研究、Vol. 10, No. 9, P. 44-53, 2)日本下水道事業団未発表データ、3)嫌気好気活性汚泥法実験報告書、京都市下水道局、(1985)、4)出口、柏谷：嫌気・無酸素・好気プロセスにおけるリン除去特性に関する一考察、土木学会第43回年次学術講演集第2部、P1080、(1988)

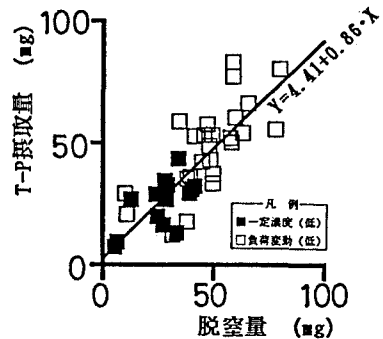


図-2 無酸素工程での脱窒量と T-P 摂取量の関係

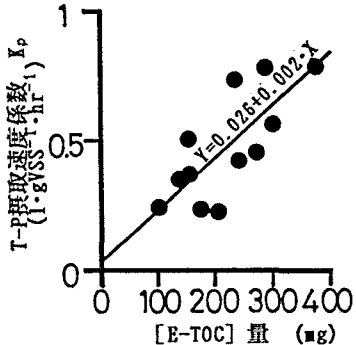


図-3 $[\text{E-TOC}]$ 量と T-P 摂取速度係数 K_p の関係

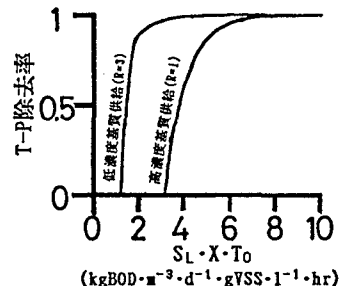


図-4 シミュレーション結果の一例

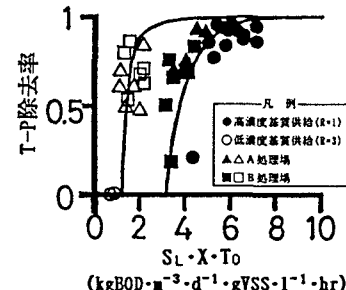


図-5 T-P 除去率算定式の検証