

日立プラント建設(株) ○中村 啓介, 吉川 均, 門崎 利通
江森 弘祥, 中村 裕紀

1. はじめに

微生物固定化担体を用いた硝化促進型窒素除去プロセスの性能向上を図るため、硝化槽の最適な運転制御システムの確立が課題となっている。原水負荷が時間変動する場合に制御効果を得るためには、硝化性能を常時監視・評価し運転条件に反映させる必要があり、重要な指標である硝化槽 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度(N_e)や硝化速度(K_N)を短時間に検出する方法が望まれる。一般に N_e の測定は、試料とする硝化槽混合液のろ過操作や薬剤の添加を必要とし、また K_N は、硝化槽の入口と出口の $\text{NH}_4\text{-N}$ 収支から算出できるが原水量などの運転条件が定常状態にないと実際の値は求めにくい。ここでは、微生物反応を利用した簡易な操作で N_e と K_N を同時に検出する方法を検討した。

2. 活性検出の原理

硝化槽では、主に次のような微生物反応に伴う酸素消費が生じる。

① $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化反応

②有機物の酸化反応とそれに伴って溶出する $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化反応

なお、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化反応は、通常、 $\text{NO}_3\text{-N}$ まで進行し、このとき化学量論的に $4.57\text{mg-O}_2/\text{mg-N}$ の酸素を消費する。

硝化槽内の固定化担体を含む汚泥混合液を試料として小型リアクタに採取し、試料に空気を供給しながら回分反応を継続した場合、想定される酸素消費速度(K_r)の経時変化パターンを図1に示す。反応開始時点(初期)は①と②の両反応に伴う K_r を示し、①が終了した時点で急激に小さくなり、やがて②の内生 K_r のみとなる。このとき、担体の高い硝化性能により、試料に 3mg/L 程度の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を含む場合でも、概ね30分で硝化反応が終了し、また、30分間の内生 K_r の低下量は無視できる程度である。¹⁾従って、初期の K_r と30分後の K_r (内生 K_r 、一定値)の差を、初期から30分後まで時間積分した値(図1の斜線部面積、酸素消費量)から初期の試料の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度(N_e)を、また、初期の K_r と内生 K_r の差(硝化 K_r)から試料の硝化速度(K_N)を換算できる。

3. 活性検出器の装置構成と運転方法

3.1 装置構成

検出器は、図1に示したように、上部気相部を密閉構造としたリアクタ(容積約2L)、気相部の空気をリアクタ下部から試料液中に循環するAirポンプ、酸素濃度計から構成される。なお、酸素濃度計は気相の酸素濃度計(O_2 計)と溶存酸素濃度計(DO計)を使用する。

3.2 運転方法

検出器は、通常、30分1サイクルで運転される。1サイクルは、リアクタへの試料採取工程(約5分間)と測定工程(約25分)から構成される。試料採取工程では、リアクタ内に残っている前回試料と次の新しい試料を入替える。

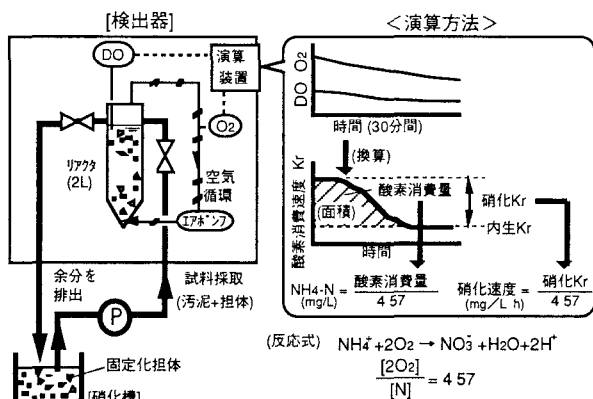


図1 活性検出器の原理及び構成

測定工程では、試料に気相部空気を循環しながら気相 O_2 濃度(C_g)と DO 濃度(C_L)の変化を測定し、以下の計算手順により硝化槽 NH_4 - N 濃度(Ne)と硝化速度(K_N)を求める。

(1) リアクタ内の総酸素量(W)の算出

W は、気相中の酸素量 W_g と試料の溶存酸素量 W_L の合計として算出する。

$$W = W_g + W_L$$

$$W_g = (C_g / 100) \cdot (V_g \cdot 32 \cdot 1000 / 22.4) \cdot (273 / 273 + T)$$

$$W_L = C_L \cdot V_L \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 W : リアクタ内の総酸素量 (mg- O_2) T : リアクタ内気温 ($^{\circ}C$)

W_g : 気相中の酸素量 (mg- O_2)

W_L : 試料の溶存酸素量 (mg- O_2)

C_g : 気相 O_2 濃度 (%)

C_L : 気相 O_2 濃度 (mg- O_2 /L)

V_g : 気相部容積 (L)

V_L : 試料容積 (L)

(2) 酸素消費速度 K_r の算出

K_r は、単位時間 u 秒ごとの W の変化速度として算出する。

$$K_{r_i} = (W_i - W_{i-1}) / 3600 / u / V_L \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 K_{r_i} : i 回目に測定した K_r (mg- O_2 /L $\cdot$ h)

W_i : i 回目に測定した W (mg- O_2)

W_{i-1} : $i-1$ 回目に測定した W (mg- O_2)

u : 単位時間 (s)

(3) Ne と K_N の算出

図1の斜線部面積に相当する酸素量(mg- O_2 /L)を単位時間 u ごとの微小区間の面積の総和として求め、(3)式にて Ne (mg-N/L)に換算する。また、初期酸素消費速度(K_s)と最終酸素消費速度(Ke 、内生 K_r)から、($K_s - Ke$)を硝化 K_r (mg- O_2 /L $\cdot$ h)とし、(4)式にて K_N (mg-N/L $\cdot$ h)に換算する。 NH_4 - N を NO_3 - N まで硝化するのに必要な化学量論値は4.57(mg- O_2 /mg-N)を用いた。

$$Ne = u \cdot ((K_{r_1} + K_{r_2} + K_{r_3} + \dots K_{r_n}) - n \cdot Ke) / 3600 / m \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 Ne : 硝化槽 NH_4 - N 濃度 (mg-N/L)

Ke : 最終酸素消費速度 (mg- O_2 /L $\cdot$ h)

m : 化学量論値4.57 (mg- O_2 /mg-N)

$$K_N = (K_s - Ke) / m \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 K_N : 硝化速度 (mg-N/L $\cdot$ h)

K_s : 初期酸素消費速度 (mg- O_2 /L $\cdot$ h)

4. 検出器の性能(実証試験結果)

実下水を処理するペガサスのパイロットプラント(硝化液循環型、処理規模50m³/d)の硝化槽を用い、硝化槽 NH_4 - N 濃度 Ne と硝化速度 K_N の検出性能を検討した。なお、硝化槽の担体濃度を10%、汚泥濃度を2000~3000mg/L程度とし、場合により原水量と硝化槽の DO 濃度を変化させた。

30分~1時間ごとに検出器により Ne と K_N を検出し、同時に、脱窒槽と硝化槽のろ液の NH_4 - N 濃度をJIS法(インドフェノール青吸光光度法)により分析した。図2に Ne の検出値と分析値の経時変化を、図3に K_N の検出値と分析値に基づく計算値の経時変化を示す。また、図4に Ne の検出値と分析値の関係を、図5に K_N 検出値と計算値の関係を示す。 Ne と K_N の検出値と分析値(または計算値)との間に、相関係数としてそれぞれ0.9以上、0.7以上が得られた。

5. まとめ

硝化性能の評価手法として、硝化槽の酸素消費特性を利用し硝化速度を推定すると同時に、硝化槽 NH_4 - N 濃度をJIS分析値に対し相関係数0.9以上で検出できる方法を考案した。引続き、検出の信頼性の

向上を図る予定である。

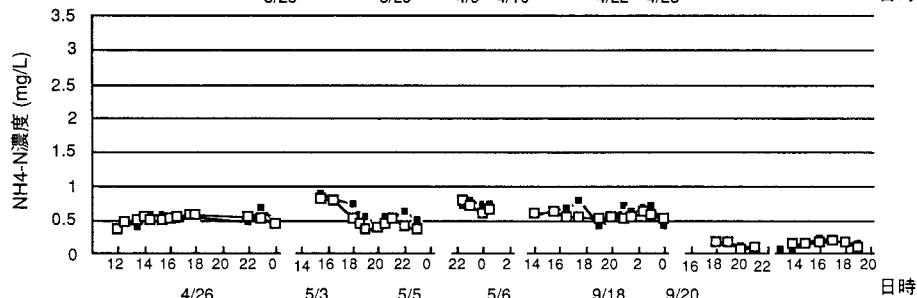
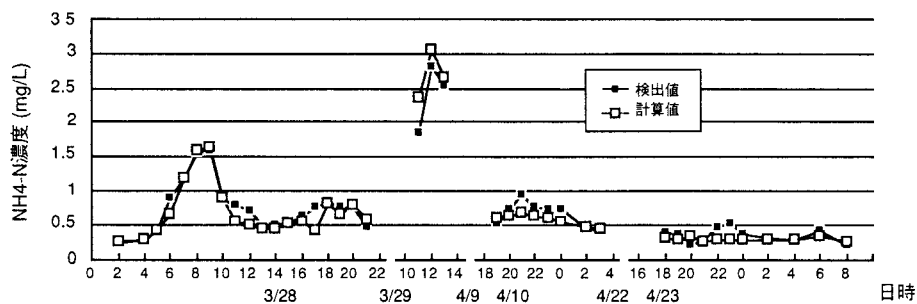


図2 NH₄-N濃度の経日変化

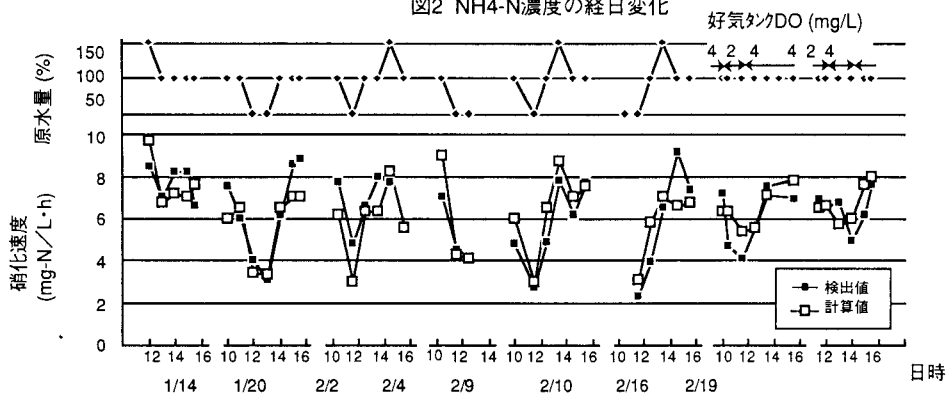


図3 硝化速度の経日変化

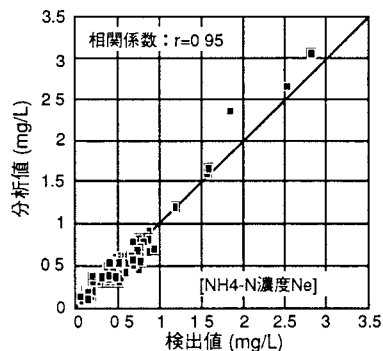


図4 残存NH₄-N濃度の検出値と分析値の関係

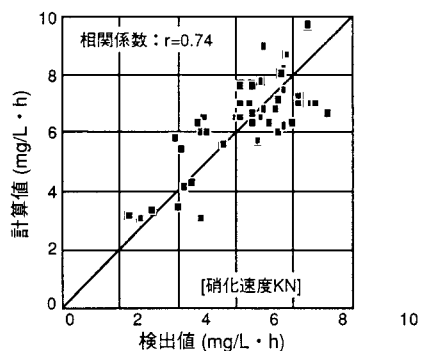


図5 容積硝化速度の検出値と計算値の関係

(参考文献)

- 1) 中村裕紀, 江森弘祥, 竹島 正, 田中和博: 硝化促進型循環変法における脱窒速度の定式化: 環境工学研究論文集, 32, pp349-358 (1995)