

ATU-r_r計による活性汚泥プロセスの監視と制御

佐藤茂雄、関根孝夫、仲野隆由
 株式会社 明電舎 総合研究所
 東京都品川区大崎 2-1-17

概 要

著者らは、活性汚泥のr_rを自動測定する呼吸速度計を開発し、実処理場に於ける連続計測からの有効性を明らかにした¹⁾。ここでは、従来のr_rの機能の他に、硝化抑制剤であるATU（アリルチオ尿素）を添加したときの呼吸速度（以下、ATU-r_rと略す）測定機能を追加することによりTOC除去と硝化反応にかかわる呼吸速度をそれぞれ分離して求められるようになり、更にきめ細かな監視・制御が可能になったのでその概要を報告する。

キーワード

活性汚泥プロセス 酸素消費速度 ATU試薬 硝化反応速度 自動計測 水質制御

表1 呼吸速度に関する数理モデル式

1. 呼吸速度に関する数理モデル式（表1）

微生物による呼吸速度（式(1)、r_r）は、TOC除去および内生呼吸に伴う酸素消費速度（式(2)、ATU-r_r）と硝化に伴う酸素消費速度（式(3)以下、Nit-r_rと略す）の和として表される。

また、微生物反応速度への水温の影響（温度活性度）は、TOC除去および硝化反応に関する反応速度定数、K_L, K_Nと内生呼吸速度定数、bについてそれぞれ式(6)～式(8)で表すことができる。これらの式は、Van't Hoff-Ahrreniusの式より導かれる。

2. 曝気槽に於ける呼吸速度分布

活性汚泥プロセスは、負荷変動や活性度等により曝気槽内の各状態変数や処理水質が変化する。

都市下水処理場の場合、図1、(a)に示すように、曝気槽内のDO濃度分布はr_r（図1、(b)）の大きい入口側で低く、処理の終了する出口側にかけて徐々に増加する。また、負荷量が高負荷から低負荷に

$r_r = a_L(-dL/dt) + a_N(-dN/dt) + b(T) \cdot X$	(1)
$ATU-r_r = a_L(-dL/dt) + b(T) \cdot X$	(2)
$Nit-r_r = a_N(-dN/dt)$	(3)
$dL/dt = -K_L(T) [C/(K_{CL}+C)]$	(4)
$dN/dt = -K_N(T) [C/(K_{CN}+C)]$	(5)
$K_L(T) = K_L(15) \exp[\theta_L(T-15)]$	(6)
$K_N(T) = K_N(15) \exp[\theta_N(T-15)]$	(7)
$b(T) = b(15) \exp[\theta_b(T-15)]$	(8)

a_L:単位炭素系基質(TOC)除去量当りの必要酸素量(mgO₂/mgTOC); a_N:単位NH₄-N除去量当りの必要酸素量(mgO₂/mgNH₄-N); b:内生呼吸速度定数(1/日); X:MLSS濃度(mg/ℓ); L:TOC濃度(mg/ℓ); N:NH₄-N濃度(mg/ℓ); K_L, K_N:炭素系基質除去およびNH₄-N除去に関する反応速度定数(1/(mg/ℓ)/日), (1/日); C:DO濃度(mg/ℓ); K_{CL}, K_{CN}:DO濃度律速に関する飽和定数(mg/ℓ); T:水温(°C); θ_L, θ_N, θ_b:それぞれ炭素系基質除去、硝化反応速度定数および内生呼吸速度定数に関する温度係数(-)

なるにつれて (①→②→③) DO濃度の立ち上がる位置が入口側にシフトする (図1, (a))。曝気槽出口付近 (図1, h) にDO計、ATU- r_r 計を設置した場合、負荷変動に伴いDO濃度、 r_r 、ATU- r_r 、Nit- r_r は、それぞれA~C、 $A_1 \sim C_1$ 、 $A_2 \sim C_2$ 、 $A_3 \sim C_3$ の範囲で変動することから、そのレベルにより、それぞれの負荷状態を監視することができる。

活性汚泥プロセス内に硝化菌が存在しない非硝化型処理の場合は図1, (d)に示すように、Nit- r_r はほとんどゼロとなる。この結果、 r_r はATU- r_r 値とほぼ一致し、送風量 (必要酸素量) は硝化型処理に比べて少なくなる。

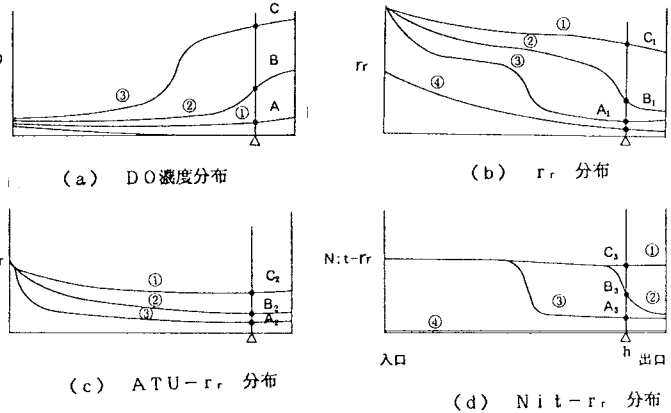


図1 曝気槽に於けるDO濃度、 r_r 、ATU- r_r 、Nit- r_r 分布特性 (標準活性汚泥法、均一曝気)

3. ATU- r_r 計

3. 1 ATU- r_r 計測システムの構成

本ATU- r_r 計は、①検出部、②制御・変換器部、③試薬 (ATU試薬、次亜塩素酸ナトリウム) 供給部、④エアー供給部、等より構成されている。ここで、検出部は、図2に示すように①温度補償付DO電極、②攪はん器付測定槽、③試薬注入部、④2基のピンチバルブより構成される。

3. 2 測定工程

本ATU- r_r 計の測定方法は、以下に示すように下水試験方法²⁾に準じている。

- ① DO計の下側の部分よりエアーを供給し、エアリフトポンプの原理で測定槽に曝気槽混合液をサンプリングする。また、このときMLSS計 (別途に設置) よりMLSS値を読み込み、その値をホールドする。
- ② 一定時間 (約2分) 経過後、下側ピンチバルブ、 V_2 を閉にする。
- ③ 測定槽内のDO濃度が5mg/l (設定) になるまで曝気を継続する。
- ④ DO濃度が5mg/l になった時点で曝気を停止し、一定時間 (約30秒) 脱気した後、上側のピンチバルブ、 V_1 を閉にする。
- ⑤ 攪はん器を起動し、DO濃度の減少曲線を求める。
- ⑥ DO濃度減少曲線より r_r 値を計算により求める。

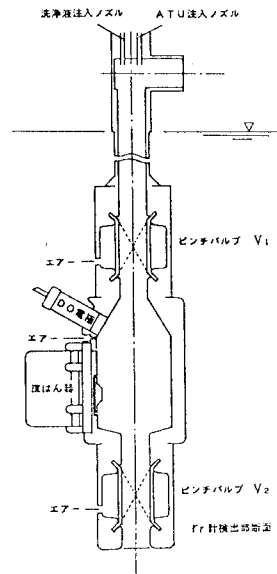


図2 検出部構造図

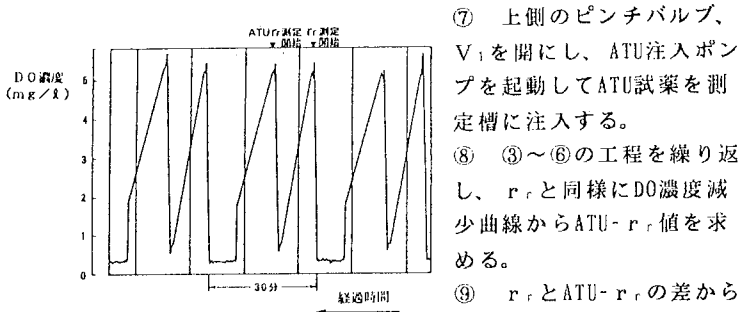


図3 測定例

- ⑦ 上側のピンチバルブ、 V_1 を開にし、ATU注入ポンプを起動してATU試薬を測定槽に注入する。
- ⑧ ③~⑥の工程を繰り返し、 r_r と同様にDO濃度減少曲線からATU- r_r 値を求める。
- ⑨ r_r とATU- r_r の差からNit- r_r を計算により求める。
- ⑩ サンプリング時にホールドしたMLSS濃度と r_r 、ATU- r_r およびNit- r_r から単位汚泥量当りの呼吸速度、即ち、呼吸率、 k_r 、ATU- k_r 、Nit- k_r を求める。通常①~⑩を30分 (設定) 周期で繰り返す。また、1日1回 (設定) 次亜塩素酸ナトリウムで測定槽内を洗浄する。図3に測定例を示す。

3. 3 試薬の注入率の決定

(1) ATU試薬

硝化反応を抑制するために用いるATU試薬の注入率とその抑制効果の関係を図4に示す。図より明かなように、ATU注入率が5mg/l以上で十分な抑制効果が得られる。

(2) 次亜塩素酸ナトリウム

測定槽内は、好気性状態に保たれるので、長期間運転すると測定槽内壁に微生物被膜が生成し測定誤差の原因となる。そこで、微生物の付着抑制、また、付着微生物の殺菌の目的で1日1回程度次亜塩素酸ナトリウムによる薬液洗浄機能を付加している。次亜塩素酸ナトリウムによる微生物の代謝抑制、殺菌効果は、注入率、pH、継続時間、等により影響される。抑制・殺菌効果を r_r により評価した場合の一例を図5に示す。但し、ここでは、内生呼吸段階の活性汚泥を用いた。これより、50~100mg/lの注入率が最適で、十分抑制効果があることがわかる。また、図6に次亜塩素酸ナトリウムによる洗浄を行った場合としない場合の手分析値との比較試験結果を示す。これより洗浄しない場合は、長期間運転すると付着微生物による呼吸速度分だけ高目にシフトしているのに対し、洗浄している場合は手分析値と良く一致していることがわかる。

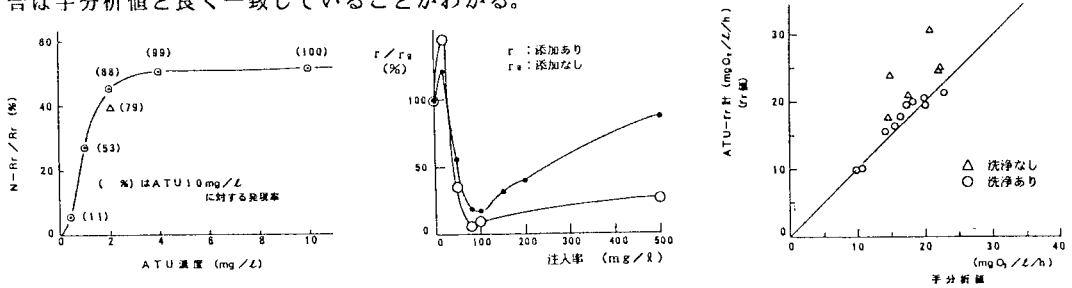


図4 ATU添加量と硝化抑制効果 図5 注入率と内生呼吸速度特性 図6 手分析との比較試験

4. 活性汚泥プロセスへの応用

4. 1 温度活性、基質濃度特性

TOC除去および内生呼吸速度に関する温度定数 $k_L(15)$, θ_L , $b(15)$, θ_b は、ATU- r_r の計測値と式(2)、式(6)、式(8)に混合液水温(T)、MLSS濃度(X)、炭素系基質濃度(L)の各測定値を代入して求められるATU- r_r の計算値との差の自乗和が最小になる条件下で決定することができる(SIMPLEX法による複数パラメータの最適化)。但し、ここでは、ATU- r_r の測定は、DO濃度を5mg/l以上まで曝気して求めているためDO濃度による律速(式(4)、式(5))はないものとした。

都市下水処理場に於ける測定から得られたATU- k_r とろ液のTOC濃度との関係を水温をパラメータにして図7に示す。図より明かなように、実測値と最小自乗法より求めた回帰直線とはよく一致したことから、炭素系基質(TOC)濃度に関して1次式と仮定したことや関係式の導出の妥当性も確認できる。最小自乗推定より求めた温度係数、 θ_L 、 θ_b は、それぞれ、0.064、0.083となる。また、図7において一定温度条件下では、ろ液のTOC濃度とATU- k_r とが比例関係にあることから、ATU- k_r 値により処理水TOC濃度を推定できることがわかる。

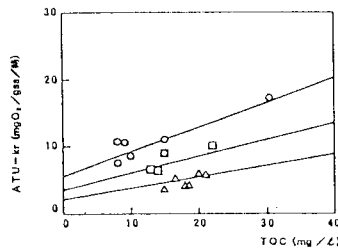


図7 ATU- k_r の温度、TOC濃度特性 (○: 24.4°C, □: 18.6°C, △: 12.3°C)

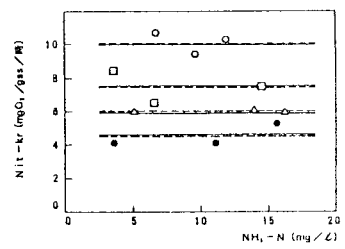


図8 Nit- k_r の温度、NH₄-N濃度特性 (○: 25.1°C, □: 21.4°C, △: 18.4°C, ●: 15.6°C) ; : 平均値 ——— : 計算値

硝化反応に関する温度係数 K_N 、 θ_N は、TOC除去の場合と同じように、混合液のNit- r_r の実測値と

式(3),式(7)に混合液の水溫、MLSS濃度を代入して求められる $Nit-r_r$ の計算値との差の自乗和が最小になるように決定した。図8に曝気槽混合液の $Nit-k_r$ とそのろ液の NH_4-N 濃度との関係を示す。ここで、破線は各温度における $Nit-k_r$ の平均値を示し、また、実線は最小自乗法より求めた $\theta_N (=0.079)$ より求めた値である。図より明かなように、実測値と計算値はよく一致しており、 NH_4-N 濃度に対しても3.6~16.2mg/lの範囲で0次式と仮定できることがわかる。

反応速度はそれぞれ水溫の低下とともに急激に低下し、 $10^{\circ}C$ 毎にほぼ半減していることがわかる。また、 θ_L に比べ θ_N のほうが大きいことから、硝化反応は、炭素系基質(TOC)除去にくらべ水溫の影響を受け易いことがわかる。一方、内生呼吸に関する温度係数(θ_b)が大きいことは、特に、高水溫時は酸素要求量を低減するため、SRTを短く(低MLSS)管理する必要があることを示している。

4.2 処理状態の監視・制御

都市下水処理場の曝気槽出口付近にDO計、ATU- r_r 計、MLSS計等を設置し、処理状態を自動計測した。この結果の一例を図9に示す。調査は、標準活性汚泥法、定風量条件下で実施した。炭素系基質除去と内生呼吸速度に伴う酸素消費速度であるATU- r_r 、ATU- k_r は図9、(c)に示すようにそれぞれ、 $10mgO_2/l/時$ 、 $5mg/gSS/時$ でほぼ内生呼吸段階に入り安定していることがわかる。これに対して硝化反応に基づく酸素消費速度、 $Nit-r_r$ は24時間周期で大きく変化し、 r_r 変動(図9、(b))の原因となっていることがわかる。 $Nit-r_r$ 、 $Nit-k_r$ 値は NH_4-N 濃度がある値以上では0次反応を示す(図8)が、それ以下では NH_4-N 濃度の低下に伴い急激に低下する³⁾。図9、(d)に於ける $Nit-r_r$ 、 $Nit-k_r$ の低下はこの NH_4-N 濃度の低下に起因している。

また、ATU- r_r に対する $Nit-r_r$ の比、 $Nit-r_r/ATU-r_r$ は、約1.5となり、硝化により消費される酸素量の割合が大きいことがわかる。

$Nit-r_r$ 変動に伴う r_r 変動に対応してDO濃度(図9、(e))がこれらと逆相関の関係で変化していることがわかる。また、日単位の変動からは、 $Nit-r_r$ の低下およびDO濃度の増加がみられ、この結果、硝化が徐々に進んでいることがわかる。以上より、ATU- r_r (ATU- k_r)および $Nit-r_r$ ($Nit-k_r$)は、それぞれ炭素系基質除去および硝化反応過程の監視・制御指標として有効であることがわかる。

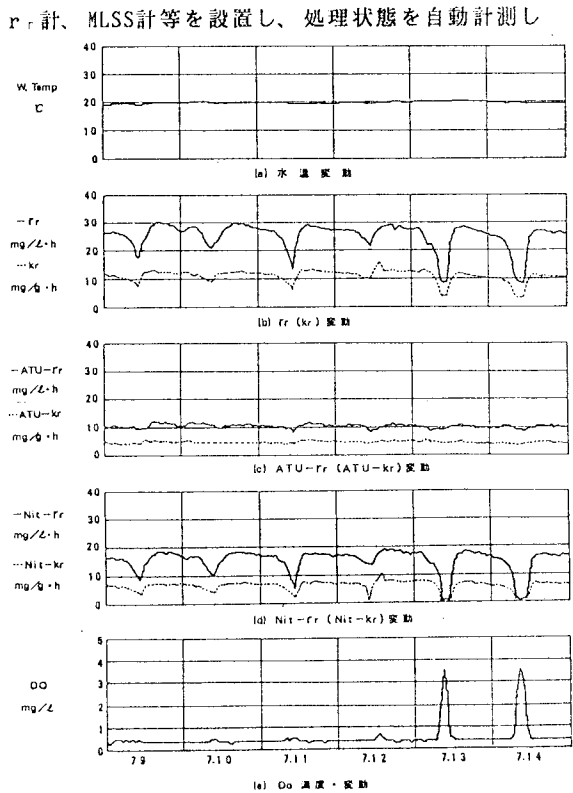


図9 都市下水処理場に於けるATU- r_r 計の測定例

5. 結語

今後ATU- r_r 計測システムを活性汚泥プロセスに於ける運転支援システムとして利用したい。

(参考文献)

- 1) 関根ら(1988)下水処理場に於ける呼吸速度の自動計測、第25回下水道研究発表会講演集、p.276.
- 2) 下水試験方法(1984)下水道協会編.
- 3) 関根ら(1987)活性汚泥法における硝化能とその制御指標に関する研究、用水と廃水、Vol.29, No. 12, p.16.