

II-17

硝化プロセスにおける曝気制御の動力学的解析

鹿児島工業高専 正員 森山克美
九州大学工学部 正員 粟谷陽一
鹿児島工業高専 学生員 〇 峯下英俊

1. はじめに 硝化プロセスに関する従来の研究では、有機物負荷率と硝化効率との関係に着目して動力学的解析がなされてきた。一方、硝化反応が曝気槽内容酸素(以下DOと記す)濃度に影響されることは指摘されてはきたが、DO濃度を理論的に設定するまでには至っていない。このような現状において、DO濃度を定める理論的根拠を与えることは、一定の硝化速度を維持しプロセスを安定に機能させると共に、下水処理施設での消費電力の相当量を占める曝気を効率的に行うことを可能にすると考えられる。本報告は、DO濃度をパラメータとした硝化実験と有機物負荷率を考慮した定常動力学モデルにより硝化プロセスにおける曝気制御の効果について検討を加えたものである。

2. 実験による検討 1) 実験方法 平均汚泥滞留時間制御による連続流実験は、図-1に示す実験装置を用いて行った。実験装置は3ℓの曝気槽と1ℓの固液分離槽からできている。実験に用いた活性汚泥は、都市下水処理場返送汚泥を硝化菌用基質で3ヶ月培養したものである。流入水の基質組成は表-1に示す。実験は平均汚泥滞留時間 θ_c を20日、流入水の曝気槽内滞留時間を6時間に設定した2組の連続流実験装置を用いて行なわれた。一方の実験装置ではDO濃度に制限を加え、他方ではDO濃度を可能な限り高くした。これら2系統におけるDO濃度の違いによるMLSS、窒素系の差異を比較することにより硝化反応に与えるDO濃度の効果を検討した。実験は20℃の恒温室で行い2~3日間隔で試料を採取し、窒素系、MLSS、DO濃度を測定した。

2) 実験結果とその考察 図-2は、先に筆者らが回分実験により求めたアンモニア性窒素の酸化速度 k とDO濃度の関係である。図-3、4に連続流実験の結果を示す。図-3は、DO濃度が可能な限り高くなるように曝気を行った実験の結果である。図-4は、曝気量を制御してDO濃度を0.1, 0.4, 3 mg/ℓ程度に変化させた実験結果である。図-3では実験期間中を通してDO濃度は6~7 mg/ℓの範囲、MLSSは1500~1700 mg/ℓの範囲である。流入水中アンモニア性窒素は、ほとんどが硝化性窒素まで硝化されている。アンモニア性窒素の酸化速度 k は、0.5~0.6 mgNH₄-N/mgMLSS/dayであり、図-2で得られたDO 6~8 mg/ℓでの k 値0.8 mgNH₄-N/mgMLSS/dayより2~3割小さい。これは、処理水中アンモニア性窒素濃度が5 mg/ℓ以下であることを考えると、曝気槽へのアンモニア性窒素の供給量が、処理能力を下回ったためと考えられる。図-4によるとDO 0.1 mg/ℓでは硝化がほとんど生じず、 k は0.06 mgNH₄-N/mgMLSS/day程度である。また、MLSSは減少傾向にある。DO濃度0.4 mg/ℓとすると、亜硝酸型の硝化となり、 k 値も0.2~0.3程度になる。しかしながらMLSSはDO 0.1 mg/ℓの場合に引き続き減少している。更にDO濃度を3 mg/ℓまで高めるとMLSSは増加傾向に転じ、処理水中アンモニア性窒素は7 mg/ℓ程度まで低下し、硝化性窒素70 mg/ℓ、亜硝酸性窒素100 mg/ℓ程度の硝化が達成される。このとき、 k 値は0.5~0.6程度である。この値は、図-2で得られるDO 3 mg/ℓにおける k 値にほぼ一致する。また、図-4に示されるように曝気量を制限すると完全な硝化ではなく亜硝酸性窒素が蓄積する。これは、曝気による酸素供給量が、アンモニア性窒素すべてを硝化性窒素にまで硝化するに不十分なためと考えられる。以上のように図-2の結果と同様、連続流でもDO濃度によって k が影響されることが明らかとなった。またDO濃度と k の関係は、回分実験結果(図-2)にほぼ一致する。

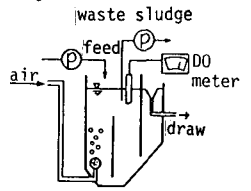
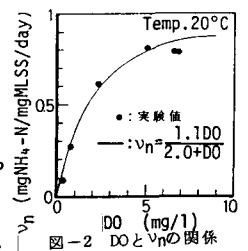


図-1 実験装置

表-1 基質組成
(NH₄-N 250 mg/ℓ) (g/ℓ)

NH ₄ Cl	0.955
NaHCO ₃	3.03
K ₂ HPO ₄	1.0
NaCl	0.3
KH ₂ PO ₄	0.5
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.2

図-2 DOと k の関係

3. モデルによる検討 筆者らは図-2に示すように、硝化速度がDO濃度の影響を受け、その関係がMichaelis-Menten型関数で表示できることを明らかにした。また、このことを利用し流入水である二次処理水中には、BODが残存すると仮定して完全混合型汚泥返送式の硝化プロセスについて、一連の定常動力学式を導いた。その結果、硝化プロセスからの硝化菌流失限界においては式(1)が成立することが導かれる。一方、BOD成分を基質とする他栄養性細菌については、除去BODを基準にした有機物負荷率(F/M)と θ_c との間に式(2)の関係が成り立っている。

$$\frac{1}{\theta_c^m} = Y_n \hat{\mu}_n \frac{N_0}{K_n + N_0} \frac{DO}{K_{DO} + DO} - k_n \dots (1) \quad \frac{1}{\theta_c} = Y_b (F/M) - k_b \dots (2)$$

ここに、 θ_c : 平均汚泥滞留時間(day), θ_c^m : 硝化菌流失限界時の θ_c , $Y_b \cdot Y_n$: 他栄養性細菌・硝化菌の収率係数(-), $k_b \cdot k_n$: 他栄養性細菌・硝化菌の自己分解速度定数(day⁻¹), $K_n \cdot K_{DO}$: 硝化菌のNH₄-NおよびDOに関する飽和定数(mg/l), $\hat{\mu}_n$: 硝化菌のNH₄-Nの最大酸化速度定数(mgNH₄-N/mgMLSS/day), N_0 : 流入水NH₄-N濃度(mg/l)。

活性汚泥には、他栄養性細菌と硝化菌が一樣に分布していると考えられる。このためF/Mの増大により θ_c が小さくなり、このとき式(1)によって定まる θ_c^m と θ_c の関係が、 $\theta_c^m > \theta_c$ となると、硝化菌はプロセスから流失する。すなわち、硝化菌の流失には有機物負荷率とDO濃度の両者が関与しており、これらの関係を明らかにする必要がある。そこで式(1)からDO濃度と θ_c^m の関係を求め、式(2)から有機物負荷率と θ_c の関係を求め、これらを図-5に示す。計算に用いた定数値を表-2に示す。 N_0 は標準的な都市下水のNH₄-Nと考えてよい。 $K_{DO}=2.0$, $\hat{\mu}_n=1.1$ は筆者らの実験で求めた値である。表-2に示した他の値は、LawrenceとMcCarty³⁾が多くの研究者の求めた有機物除去と硝化に関する動力学定数を総括しているので、これを参考にして決定した。図-5の第I象限は、DO濃度と硝化菌の最小平均汚泥滞留時間 θ_c^m の関係を示している。第II象限は、BOD負荷率と他栄養性細菌の θ_c の関係を示している。活性汚泥中には、他栄養性細菌と硝化菌が一樣に分布していると考えられるので、両細菌についてそれぞれ求められた θ_c および θ_c^m を縦軸とする。図-5によると、例えばBOD負荷率0.2kgBOD/kgMLSSで運転される場合、他栄養性細菌の滞留時間は20daysとなる。このとき硝化を行うためには、曝気槽内DO濃度を1.7mg/l以上に維持しなければならない。DO濃度を0.1~3mg/lに調整した連続流実験結果(図-4)では、DO濃度0.1, 0.4mg/lの場合、MLSSは減少傾向にあり、硝化菌が流失することが示された。本実験の流入水アンモニア性窒素濃度は、250mg/lであるので式(1)で $N_0=250$ mg/lの場合のDO濃度と θ_c^m の関係を求め、図-5に▲印で記入してある。これによると、 θ_c を20日で運転すると、DO濃度は先の例と同じくほぼ1.7mg/l以上必要となる。すなわちMLSSは、DO濃度0.1, 0.4mg/lでは減少し、DO濃度を3mg/lに高めると、このときのMLSS濃度においては増加傾向に転じたことがわかる。

一参考文献一

- 1) Downing, A.L., et al.: Nitrification in The Activated Sludge Process, Jr. Inst. Sew. Purif., PP.130-158, 1964.
- 2) 森山・栗谷・楠田: BOD除去-硝化混合プロセスに関する基礎的研究, 第16回衛生工学研究討論会講演論文集, PP.22~27, 1980.
- 3) Lawrence, A.W., and McCarty, P.L.: Unified Basis for Biological Treatment Design and Operation, Proc. of ASCE, SA3, PP.757-778, June, 1970.

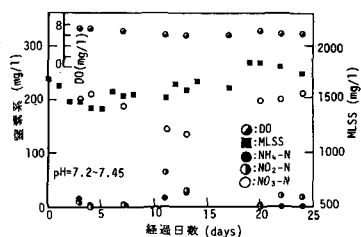


図-3 非ばつ気制御下の水質変化

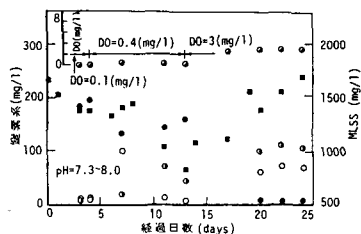


図-4 ばつ気制御下の水質変化

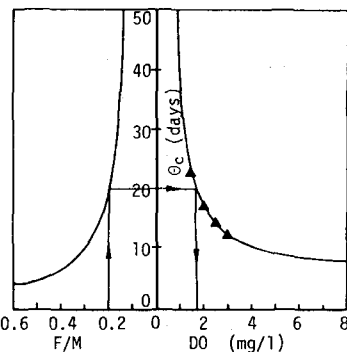


図-5 θ_c , DOおよびF/Mの関係

表-2 試算に用いた定数値

$Y_n = 0.2$	$k_n = 0.05$
$\hat{\mu}_n = 1.1$	$N_0 = 40$
$K_n = 1.0$	$Y_b = 0.5$
$K_{DO} = 2.0$	$k_b = 0.05$