

エアレーションタンクでの硝化と 影響因子について

横浜市 ○ 蓮野智久
多田 実
北谷道則
片山昌子

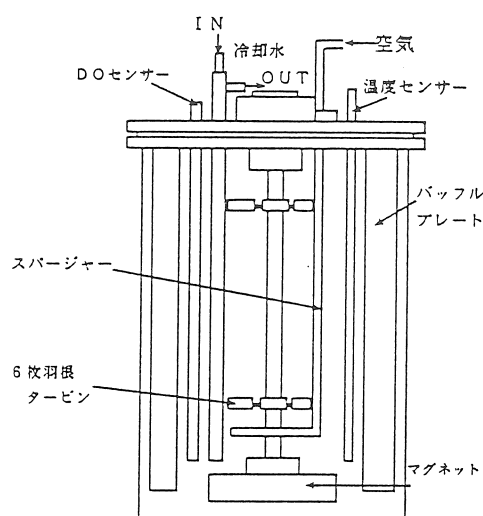
1. はじめに

活性汚泥処理システムにおいてはエアレーションタンクで硝化を安定して進めることが処理水質の安定のために重要であり、横浜市ではN-BOD対策としても硝化を進める方向でエアレーションタンクの運転を行っている。硝化反応の影響因子として溶存酸素濃度、空気量、水温、有機物負荷などが報告されているが、硝化反応の全体を説明したものは少なく、下水処理場で維持管理上遭遇する現象を説明することは困難である。今回、著者らは溶存酸素濃度、空気量、MLSS、有機物負荷を変えて硝化実験を行い、硝化反応の影響因子について知見が得られたので報告する。

2. 実験方法および実験条件

図-1に今回の硝化実験に用いた装置の概略図を示す。装置は容量5リットルのリアクターであり、冷却水とヒーターにより水温を、スターラーの回転数を変えることによりDOをコントロールすることができる。表-1に今回行った実験条件を示す。RUN1ではDO値を変えて硝化速度を比較した。RUN2ではMLSS濃度を変えて、空気量一定で硝化の比較を行った。RUN3ではMLSS濃度3種類と空気量4種類を組み合わせると12組の実験を行い、空気量、MLSS濃度と硝化速度の関係を調べた。RUN4では原水の濃度を変えて有機物負荷の硝化への影響を調べた。各RUNとも水温は実験を行った時のエアレーションタンクの水温に近い20℃とし、全窒素及び各形態別窒素、DO、Rr、活性汚泥にATUを添加し、硝化細菌の活性を押しえたときのRr（以下ATU-Rr）の測定を行った。また、下水処理場での実態を知るために処理場への流入負荷の調査、エアレーションタンクでの窒素の挙動調査を行った。

図-1 実験装置の概要



3. 結果及び考察

① DO値と硝化速度

図-2はリアクターのDO設定値を0.5mg/l、1.5mg/l、2.5mg/lと変えて硝化実験を行った時のアンモニア性窒素の除去の様子を示したものである。0.5mg/lでは硝化の立ち上がりが遅く硝化速度も小さいものとなっていた。1.5mg/l、2.5mg/l大きな差はなかったが2.5mg/lの方が若干硝化速度が大きかった。図-3に実験開始から60分たったときの試料のRr測定時得られるDO曲線から求めた、Rr、ATURr、硝化に

表-1 実験条件

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
水温 (°C)	20	20	20	20
MLSS (mg/l)	800	1000, 2200, 3800	880, 1800, 2400	1000
DO (mg/l)	0.5, 1.5, 2.5	-	-	-
空気量 (ml/分)	100~400	500	100, 200, 400, 600	400
回転数 (rpm)	制御	200	200	100
開始時	T-N (mg/l)	18	30	26
	NH ₄ -N (mg/l)	9.9	22	22
原水	COD (mg/l)	53	51	21.39.79

必要な酸素要求量に相当すると思われるRrとATURrの差(NRr)を示す。RrはDO値が2.5mg/l以上では30mgO₂/l/hあったものが2.5mg/l位から低下してDO 0.5mg/lで20mgO₂/l/h程度になったのに対し、ATURrの低下はこれよりも小さかった。その結果、NRrはDO 2.5mg/lまでは上昇し、その後は平衡に達しており、硝化反応のDO濃度による律速を表す、Monodの式に近いものとなった。図-4は空気

量一定でMLSS濃度を1000mg/l, 2200mg/l, 3800mg/lと変えた実験でのアンモニア性窒素の除去量とDO値を示したものである。MLSS 3800mg/lのDO値とアンモニア性窒素の除去量を見るとDO値がほとんど0mg/lでも硝化が進んでいる。MLSS濃度が高い場合は、低DOで硝化速度が平衡に達するが、MLSS濃度が低いと平衡に達するDO値が高くなるといえよう。

②MLSS濃度, 空気量と硝化速度

図-4で各MLSS毎に硝化の進み方を比較するとMLSS 1000mg/lでは30分でグラフの傾きである硝化速度は平衡になり、その後、DO値も上がっている。また、硝化速度は他の2つの高MLSSのものよりも小さかった。DOが豊富にあるにも関わらず、硝化速度が他のMLSSのものより小さかったのは硝化速度が菌濃度によって律速されていたためだと考えられる。MLSS濃度2200mg/lのものは30分で硝化速度が平衡になっているが、DO値は硝化がほぼ完了した180分になって上がっている。MLSS濃度3800mg/lでは処理が進むにつれ硝化速度は大きくなり、120分で2200mg/lとほぼ同じ硝化速度となった。これは、菌濃度が高い場合は、最初、炭素系の処理に使われる酸素量が多く、硝化には十分に酸素が供給されなかったためだと考えられる。その後、炭素系の酸素要求量が減ったため、硝化速度が2200mg/lのものと同じとなったのだと考えられる。DO値はやはり、硝化がほぼ完了した240分になって上がっている。硝化量は空気量に比例していたことから、MLSS 2200mg/l, 3800mg/lでは空気量が硝化速度の律速となっていたと考えられる。図-5にMLSS濃度, 空気量を変えた実験(RUN3)でのRr, ATURr, DO 0mg/lの時の酸素供給量O₂を示す。O₂は

$$R_r = K_L * (C_s - C)$$

K_L: 総括酸素移動係数 C_s: DO飽和濃度
C: DO濃度

によりK_Lを求め、
O₂ = K_L * C_s

として求めた。MLSS 800mg/lのものに注目すると供給された酸素量O₂はR_rにより消費され、残りはDOを上げるために使われたことがわかる。R_rとATU-R_rの差は硝化のために使われた酸素量である。各MLSS濃度でR_rとATU-R_rの差(NR_r)、酸素供給量O₂とR_rの差(DOに比例)を比べるとMLSS 2400mg/lのも

図-2 DO濃度と硝化量

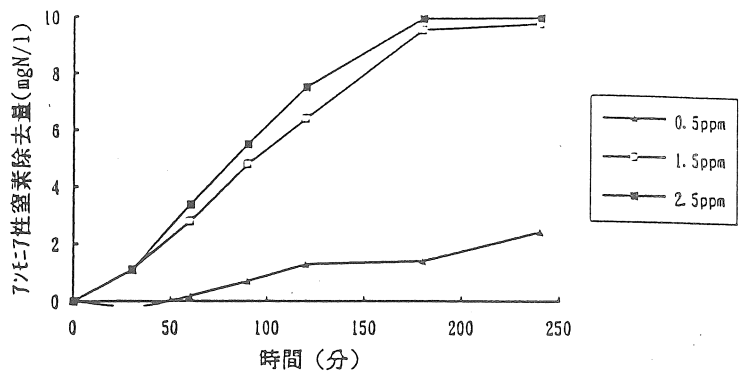


図-3 DO濃度と酸素消費量

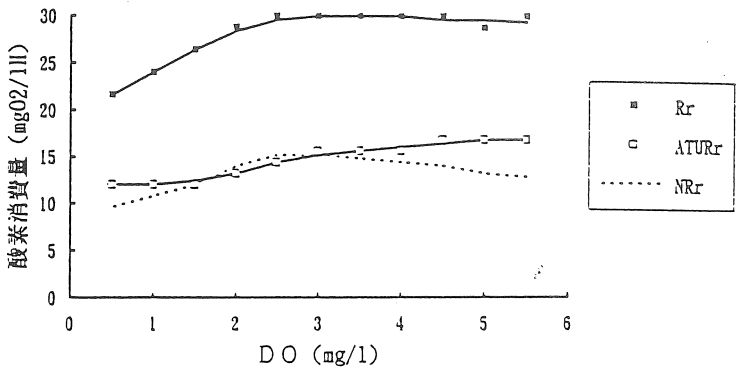


図-4 MLSS濃度による硝化速度, DOの違い

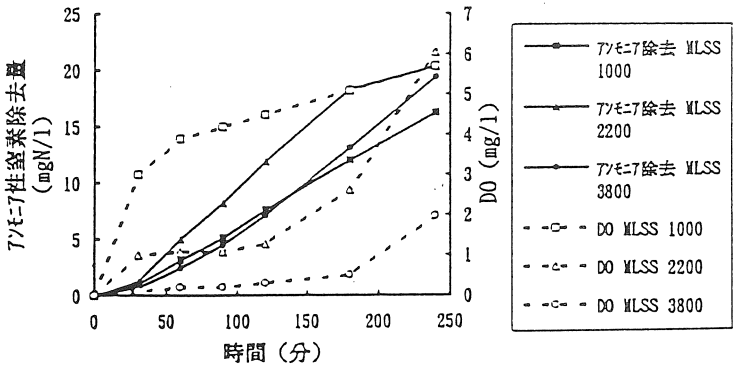
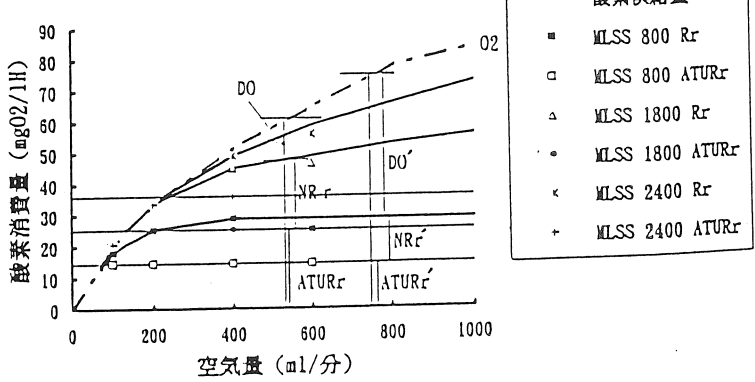


図-5 MLSSの違いによる酸素消費量の変化



ので、NRrが大きくなっても酸素供給量O₂とRrの差が小さいことからDOが低くても硝化が進む理由が理解できる。このことから、供給した空気量は活性汚泥の呼吸（炭素系+窒素系）に使われる→余った空気量は溶液のDO値を上げることに使われる→DOが上がった結果、酸素の供給量が減るという図式が成り立つのだと考えられる。つまり、溶液のDO値は酸素の供給と消費のバランスであると言えよう。また、NRrが平衡に達すると、それ以上の空気量ではO₂とRrの差は大きくなり、DOが増加しても硝化速度は上昇しないということになり、図-3の関係が成り立つことを示している。

③有機物濃度と硝化速度

図-6に原水の濃度を変えた時の硝化速度の時間変化を示す。濃度のうすいものほど硝化はすぐ始まるが、硝化速度は他のものと差がなかった。濃度のうすいものは、図-5のRrのベースになっているATU-Rrが最初から小さいため硝化速度の立ち上がりが早く、他の濃度のものも、処理が進むにつれ、炭素系の酸素消費量が小さくなり、硝化速度が大きくなってきたのだと考えられる。このように有機物濃度は酸素消費量のベースを上げることで硝化速度に影響を与えられられる。図-7に夏と冬に行ったエアレーションタンクでの窒素の挙動調査から求めた各槽の硝化速度とTOC濃度を示す。硝化速度は冬でも夏と大差ないが、硝化が始まるのが遅く、その結果としてエアレーションタンク内で硝化は完了していなかった。エアレーションタンクの第一槽目のTOC濃度を見ると、夏には12mg/lであったものが冬には20mg/lあった。実際の処理場でも有機物濃度

図-6 有機物濃度と硝化速度, ATURr

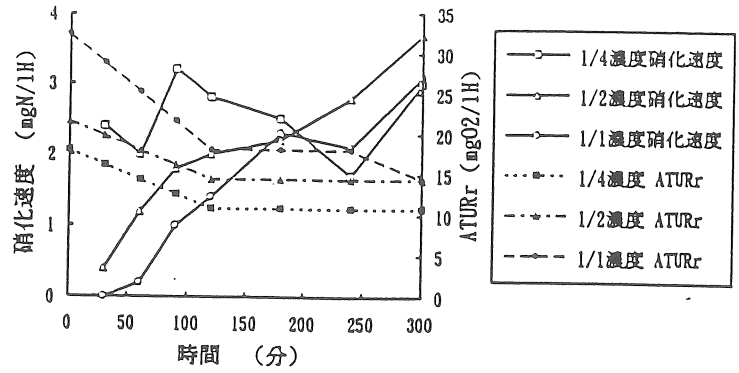


図-7 季節による硝化速度と有機物濃度の変化

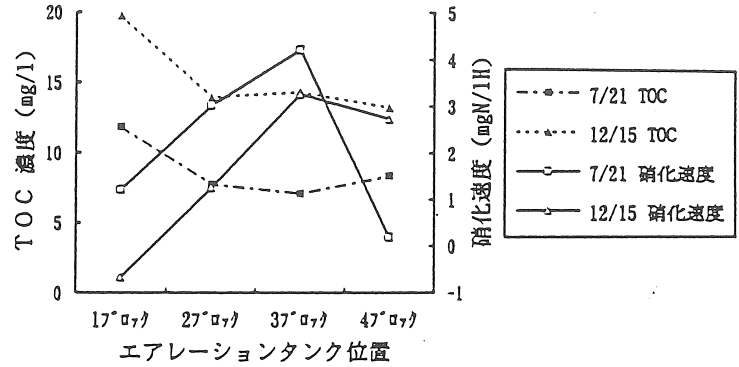
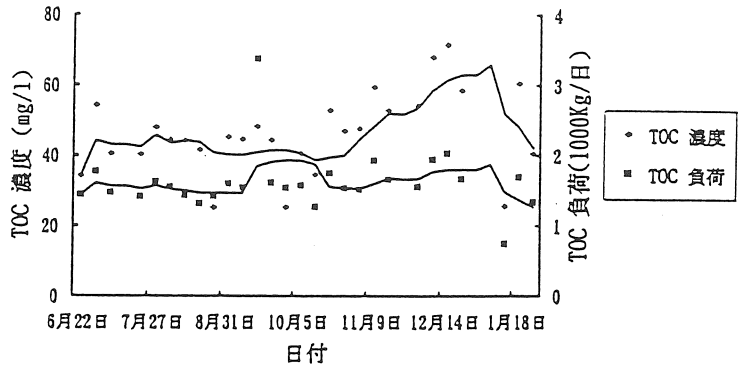


図-8 TOC 濃度と負荷の季節変動



が硝化速度に影響を与えていると言えよう。冬季にエアレーションタンクで硝化が進み難くなるのは水温の低下によって硝化速度が小さくなることよりも有機物濃度が高くなるためだと考えられる。

図-8に横浜市中部下水処理場のエアレーションタンクに流入するTOCの濃度と負荷を示す。濃度は12月から1月にかけて高くなる傾向があったが、負荷には大きな変化は見られなかった。エアレーションタンクでの硝化が有機物濃度の影響を受けるとすると、この濃度の高い時期の硝化対策が肝心である。硝化促進策としては、返送率を高くして流入水をすすめること、ステップ流入で負荷を分散することが考えられ、どちらの方法でもエアレーションタンクでの硝化の立ち上がりが早められることが報告されている。また、ATU-Rrは反応の初期で下がることから、エアレーションタンクを隔壁でいくつかのセルに分けること、特に前段部分を細かく分けることが硝化の安定に有利であると考えられる。

4. まとめ

硝化に関しDO, MLSS, 空気量, 有機物濃度の影響を調べ以下のことが分かった。・硝化速度はDOが低い時はDOに律速となっていたが、MLSS濃度によって律速となるDO濃度が大きく変わった。・酸素供給量, Rr, ATURrを求めることで空気量, DO, MLSS, 硝化速度の関係が説明された。・有機物濃度の硝化速度に与える影響は大きく、実際の処理場でも有機物濃度によって硝化に影響を受けていた。