

# 循環法処理施設における硝化・脱窒の機構

水質管理課 ○新井久雄, 宗像克郎

## 1.はじめに

循環法による返流水処理施設の主要目的のひとつは、硝化・脱窒による窒素除去であるが、反応タンクでの硝化→脱窒に至る詳細な説明はなされていない。そこで、反応タンクにおける硝化・脱窒を常に良好な状態に維持するため、年間を通した脱窒槽、硝化槽及び終沈における形態別窒素の挙動から、硝化・脱窒の良否の過程及び最終沈殿池における脱窒状況等を把握したので報告する。

2.検討期間 平成13年4月～平成14年3月

3.反応タンクの概要 本循環法の反応タンクは4水路で構成され、そのうち1水路(1セル～4セル)は脱窒槽、2水路～4水路は硝化槽となっており、循環水及び返送汚泥は1水路1セルの先頭に戻される。

## 4.冬季における硝化・脱窒の悪化に至る過程

厳冬期は硝化・脱窒が不完全となることから、脱窒が不完全となり始めた悪化初期の事例を図1に示した。この事例では、反応タンク出口でNH<sub>4</sub>-N及びNO<sub>2</sub>-Nが検出されておらず、NO<sub>3</sub>-Nが40mg/Lとなっていることから完全硝化の状態になっているが、脱窒槽においてNO<sub>2</sub>-Nが1セルで13mg/L残存し、2セル→4セルに行くに従ってNO<sub>2</sub>-N濃度は徐々に減衰するが、脱窒槽出口(4セル)でNO<sub>2</sub>-Nは2.4mg/L残存し、脱窒が不完全となった。また、NO<sub>3</sub>-Nは脱窒槽1セルから定量限界に近い値となっていることから、脱窒槽1セルに流入(循環水+返送汚泥)したNO<sub>3</sub>-Nは瞬時に一部が脱窒(推計値:57%)、一部がNO<sub>2</sub>-Nとなっていた。

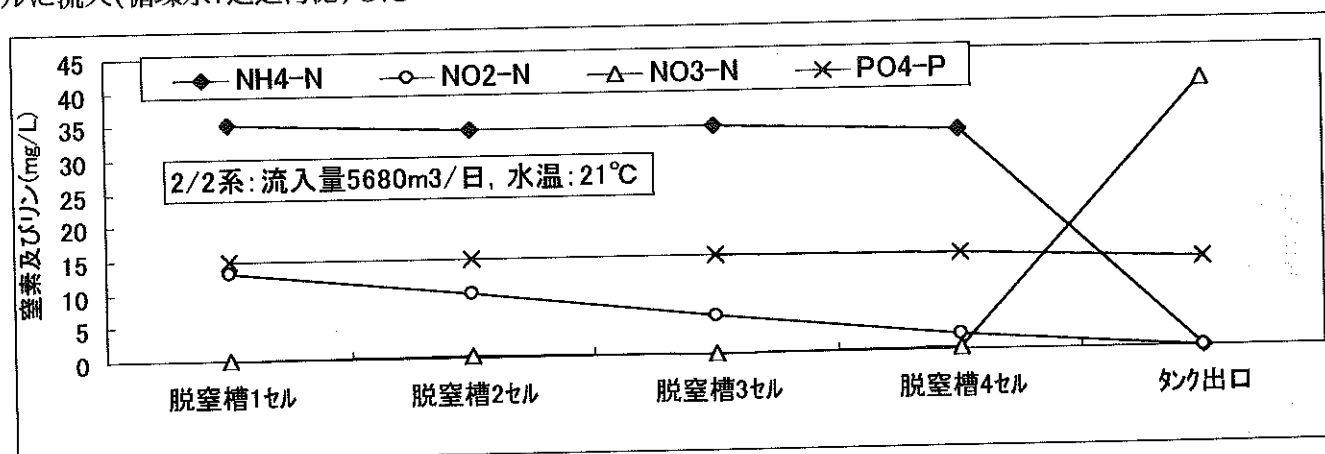


図1 冬季における悪化初期の事例(平成14年1月28日)

この事例後、脱窒がさらに悪化し、硝化も後退したことから、冬季における硝化・脱窒の悪化に至る過程を明らかにするため、その前後の1/15～2/24における脱窒槽出口及び反応タンク出口の形態別窒素濃度等を図2に示した。図2から悪化過程は次の3段階に分けられた。①硝化・脱窒は1月中旬までほぼ良好であったが、反応タンクの水温が23℃に低下し、かつ流入量が増えた1/24に脱窒槽出口でNO<sub>2</sub>-Nが残存するようになった。②水温がさらに低下(21℃)すると、流入量が5500m<sup>3</sup>/日程度でも脱窒槽出口でNO<sub>2</sub>-Nに加えてNO<sub>3</sub>-Nが残存するようになった。その後、③脱窒槽でNO<sub>2</sub>-NとNO<sub>3</sub>-Nが高濃度で残存すると、硝化槽では正常の状態よりNO<sub>3</sub>-Nが高濃度(NH<sub>4</sub>-Nから硝化されたNO<sub>3</sub>-Nが加算される)になり、pHが低下し、そして硝化が後退、反応タンク出口でNH<sub>4</sub>-Nが残存するようになった。

## 5.硝化槽内における脱窒及び形態別窒素の消長

硝化槽に流入したNH<sub>4</sub>-Nがどのように消長するかを明らかにするため、図3に脱窒槽出口(1水路出口)、2

水路硝化槽出口及び反応タンク出口における形態別窒素濃度を示した。脱窒槽出口と2水路硝化槽出口におけるNH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-Nの合計濃度を平均値で比較すると、1/2系では脱窒槽出口が27.0mg/L(すべてNH<sub>4</sub>-N)、2水路硝化槽出口が21.7mg/L、また2/2系では脱窒槽出口が32.2mg/L(ほとんどNH<sub>4</sub>-N)、2水路硝化槽出口が25.3mg/Lとなり、それぞれN濃度が5.3mg/L, 6.9mg/L減少した。これは、硝化槽内では流入したNH<sub>4</sub>-Nが硝化過程で脱窒されなければ、そのN濃度は保持されるが、2水路硝化槽ではDO濃度が低いため、局所的に硝化→脱窒が起こっていると判断される。

次に、2水路硝化槽出口と反応タンク出口におけるNH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-Nの合計濃度を平均値で比較すると、2/2系では2水路硝化槽出口が25.3mg/L、反応タンク出口が24.9mg/Lで、N濃度は同程度であった。しかし、1/2系では2水路硝化槽出口が21.7mg/L、反応タンク出口が25.7mg/Lで、N濃度が高くなった。この原因として、2/2系はDO制御値が2mg/Lであったが、1/2系はDO制御値が3mg/L、加えて散気板交換(H11年8月)による散気効率の上昇で、硝化が反応タンク出口より手前で終了し、その後、活性汚泥微生物の内生呼吸(細胞物質の分解)によりN濃度(NO<sub>3</sub>-N)が高くなったことが考えられる。

### 6. 最終沈殿池(以下終沈)における脱窒

反応タンク出口と返送汚泥のNO<sub>3</sub>-N濃度は、図4に示すように、相関関係が良い。しかし、NO<sub>3</sub>-N濃度は返送汚泥のほうが反応タンク出口よりかなり低かった。例えば、反応タンク出口でのNO<sub>3</sub>-N濃度が30mg/Lとすると、図4の回帰式より返送汚泥のNO<sub>3</sub>-N濃度は24mg/Lとなる。したがって、脱窒除去率をさらに向上させるにはNO<sub>3</sub>-N濃度が高い循環水(反応タンク出口のNO<sub>3</sub>-N濃度)の循環率を返送率より大きく設定したほうが有利と判断される。

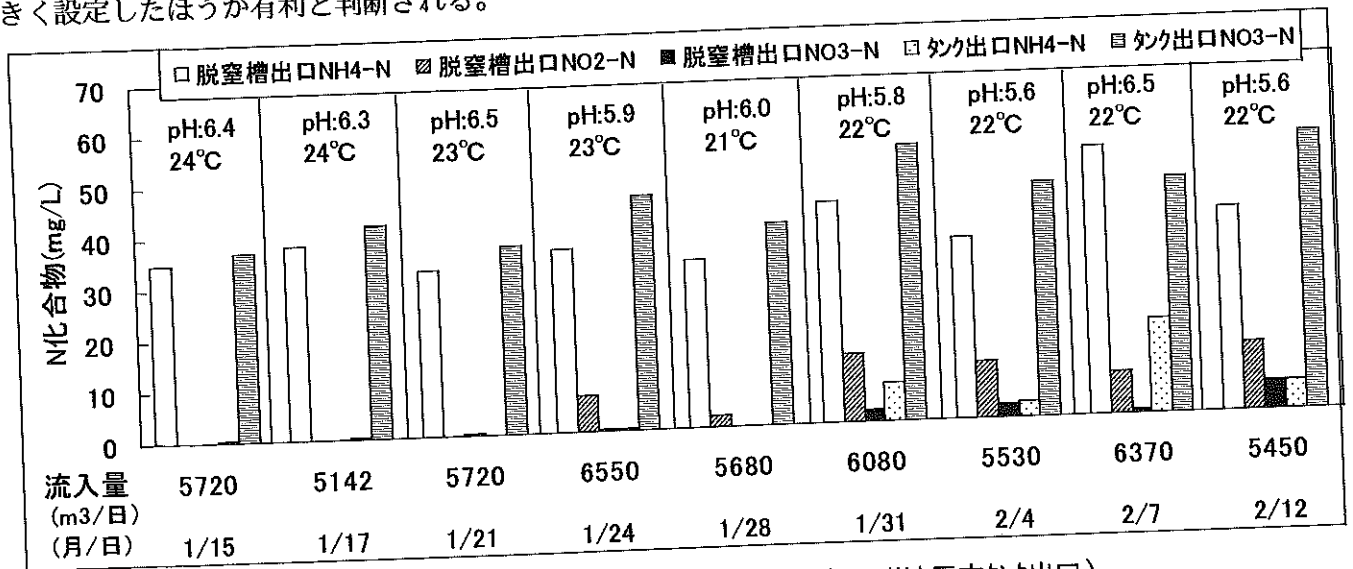


図2 冬季における硝化・脱窒の悪化過程事例(2/2系: 図中のpHは反応タンク出口)

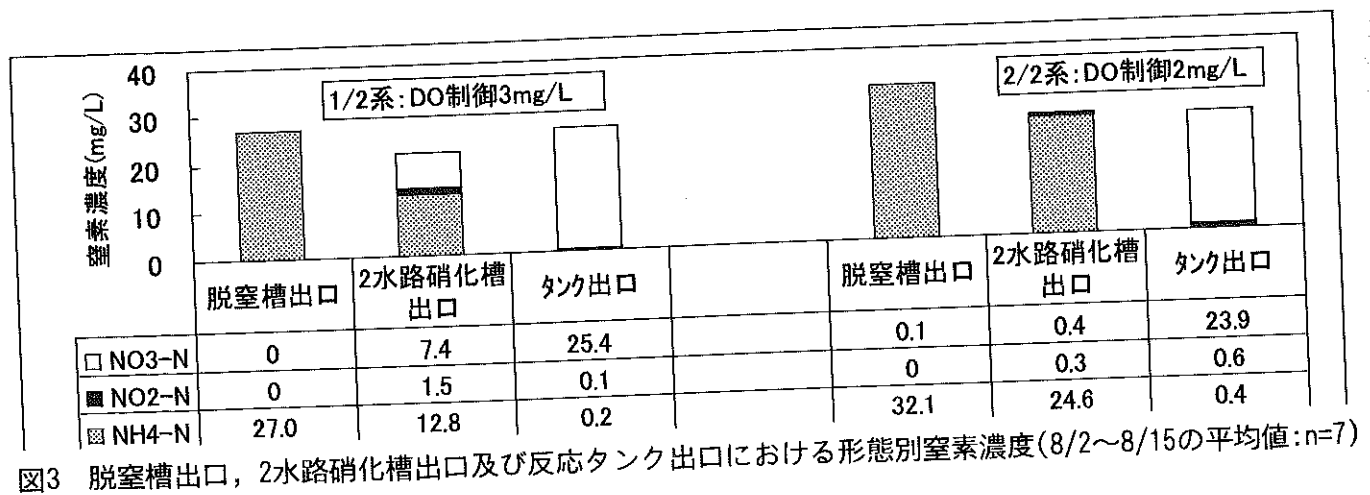


図3 脱窒槽出口, 2水路硝化槽出口及び反応タンク出口における形態別窒素濃度(8/2~8/15の平均値: n=7)

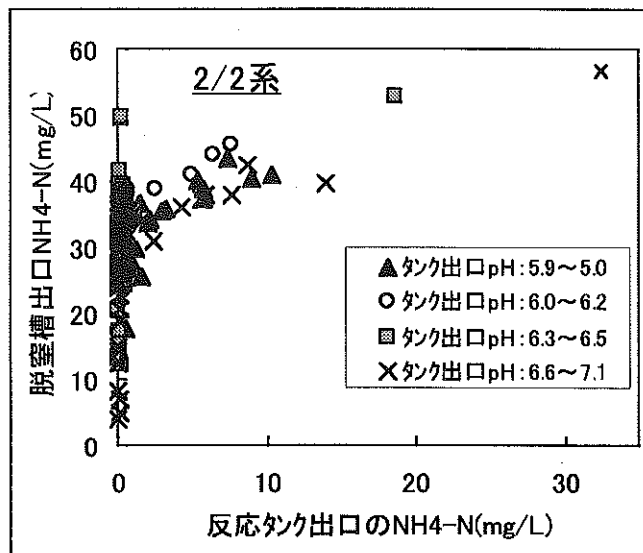
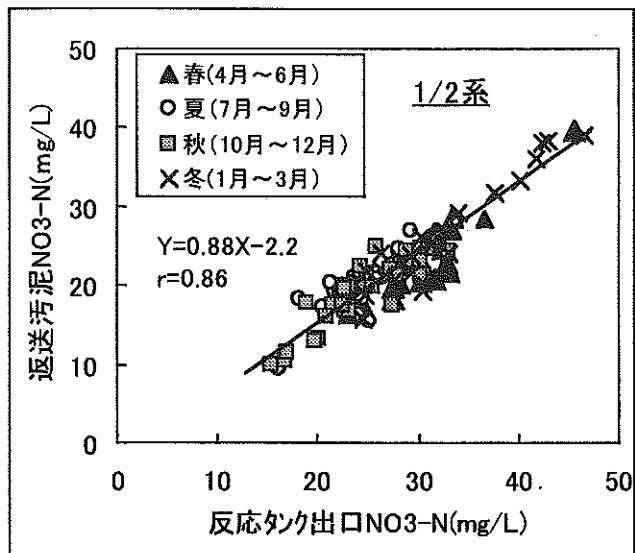


図4 反応タンク出口NO<sub>3</sub>-Nと返送汚泥NO<sub>3</sub>-Nの関係 図5 反応タンク出口NH<sub>4</sub>-Nと脱窒槽出口NH<sub>4</sub>-Nの関係

次に、終沈での脱窒の影響をみるため、終沈入口の上層と下層及び終沈出口の上層と下層における水質の形態別窒素濃度を調べ、表1に示した。NO<sub>3</sub>-N濃度は、返送汚泥では明らかに反応タンク出口より低い。一方、終沈入口の上層と下層及び終沈出口の上層と下層におけるNO<sub>3</sub>-N濃度は28mg/L～29mg/Lの範囲で、ほとんど差が認められなかった。このことから、終沈内においては、活性汚泥が沈殿している終沈底部では溶存酸素がない状況のもとで脱窒が起こり、返送汚泥のNO<sub>3</sub>-N濃度は低下するが、その脱窒は狭い範囲であることから、終沈における脱窒は処理水に大きな影響を及ぼすほどでない判断される。

#### 7. NH<sub>4</sub>-Nの流入適正初期濃度

返流水中には高濃度のNH<sub>4</sub>-Nが存在していることから、反応タンクへの流入適正初期濃度を把握することが重要と考える。そこで、反応タンク出口のNH<sub>4</sub>-Nと脱窒槽出口のNH<sub>4</sub>-Nの関係を図5に示した。

脱窒槽出口におけるNH<sub>4</sub>-N濃度が、30mg/L未満ならばほぼ完全硝化の状態となり、30～40mg/Lの範囲ならば概ね硝化は良好であった。しかし、そのNH<sub>4</sub>-N濃度が40mg/Lを超すと、硝化の後退やNO<sub>3</sub>-N濃度が高くなることによる硝化槽内のpH低下で、反応タンク出口でNH<sub>4</sub>-N濃度が5mg/L以上残存する頻度が高くなった。したがって、脱窒槽出口におけるNH<sub>4</sub>-N濃度は40mg/L未満であることが望ましい。

表1 最終沈殿池における形態別窒素濃度等(採水日時: 6/26 10:00)

	脱窒槽出口	反応タンク出口	返送汚泥	終沈入口		終沈出口	
				上層	下層	上層	下層
pH	7.0	6.5	6.6	7.4	6.8	7.0	6.7
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	31	1.3	2.1	0.3	0.6	0.4	0.3
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	0.3	23	16	29	29	28	28
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	39	6.4	6.8	7.8	8.6	7.7	9.0
DO (mg/L)	—	3.0	—	0.2	0.1	0.5	0.1
MLSS (mg/L)	—	2840	—	—	—	—	—
ORP (mv)	—	364	—	—	—	—	—
水温 (°C)	—	30.4	—	—	—	—	—

\*終沈上層とは水面下0.1m, 終沈下層とは水面下3m

8. おわりに 今回の検討により、循環法による返流水処理過程での硝化・脱窒の挙動や冬季における悪化過程の状況がほぼ解明されたと考える。今後の課題として、硝化・脱窒の状況を常に監視できるように、現状の自動計測器(流量計, DO計, pH計, ORP計, 水温計)のデータを収集解析し、監視体制を確立したい。