

## 2-2-3 第二沈殿池における脱窒について

東部第二下水道事務所 中川水再生センター 水質管理担当  
 ○勅使川原 秀和 井上 文恵 山本 孝幸  
 藤田 勇（現 東部第一下水道事務所 砂町水再生センター）

### 1 はじめに

中川水再生センター（以下、「当センター」）は一年を通して窒素処理が安定しており、区部の他のセンターと比較して放流水の全窒素濃度は、とりわけ低い値となっている（令和3年度の年平均値：5.3 mg/L）。当センターには A<sub>2</sub>O、AO、標準法の3つの処理方式が存在するが、特に標準法の窒素濃度が低く、その要因を探るため様々な調査が行われてきた。

これまでの調査により、当センターの標準法では、好気槽内脱窒が進んでいることが判明したが、この現象だけでは、放流水の全窒素濃度が低い理由として十分ではなく、他の要因もあるのではないかと推測された。

そこで今回は、第二沈殿池（以下、「二沈」とする）に着目して調査を行い、標準法の二沈における脱窒の状況等について知見が得られたので報告する。

### 2 施設の概要

表1 当センターの施設概要

当センターの概要を表1に示す。第一沈殿池は共通であり、反応槽への流入水質は各処理方式で差はない。反応槽は、すべて折り返しが無い直線構造であり、A<sub>2</sub>O、AOは各回路間に隔壁を有するが、標準法は隔壁がない。また、標準法では反応槽前段部の送風を絞り、制限ばっ気を行っている。

二沈は、二階層式で A<sub>2</sub>O、AO、標準法（4池）に分かれており、それぞれ返送汚泥が引き抜かれる。

なお、処理方式が異なっても反応槽および二沈は、同じ構造である。

		A <sub>2</sub> O	AO	標準
反応槽 形状	容量 (m <sup>3</sup> )	14,900	14,900	59,600
	槽数 (池)	2	2	8
二沈 形状	容量 (m <sup>3</sup> )	6,180	6,180	24,720
	池数 (池)	1	1	4
令和3 年度 運転 実績	処理水量 (m <sup>3</sup> /日)	26,150	24,000	146,040
	A-HRT (h)	6.9	10.6	9.8
	BOD 容量負荷 (kg/m <sup>3</sup> ・日)	0.17	0.16	0.24
	平均 MLSS (mg/L)	1,210	1,310	1,090
	返送汚泥率 (%)	40.9	53.6	39.3
	二沈 沈殿時間 (h)	5.7	5.6	4.0
	二沈 水面積負荷 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・日)	12.3	12.5	17.6

### 3 調査内容と結果

#### 3.1 二沈の水質調査

二沈の水質を把握するため、反応槽最終回路と二沈の上段流出水、下段流出水を採水・分析した。二沈の試料は、反応槽最終回路採水後、滞留時間を考慮して採水した。採水箇所を図1に、水質分析結果を表2、3に示す。

A<sub>2</sub>O、AO の二沈の水質は、反応槽最終回路と比較して大きな差が見られず、上段・下段でも差がなかった。一方、標準法では、上段流出水は反応槽最終回路と同等の水質であったが、下段流出水は硝酸性窒素（以下、NO<sub>3</sub>-N）濃度が減少、りん酸性りん（以下、PO<sub>4</sub>-P）濃度が上昇していた。過去の調査から、標準法の二沈では脱窒反応が起きていることが確認されていたが、下段流出水での水質変化が顕著であることがわかった。

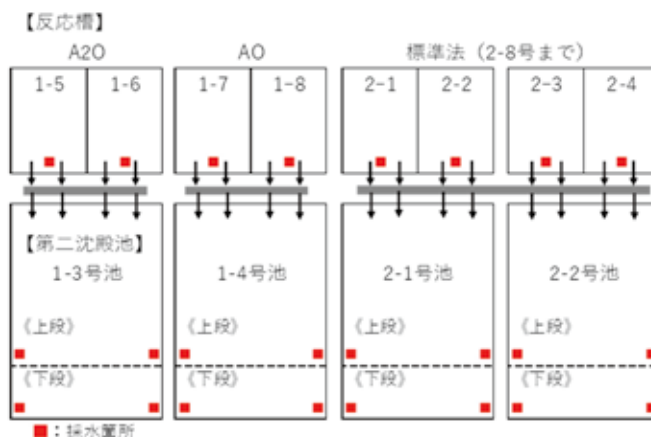


図 1 採水箇所のイメージ

表 2 反応槽最終回路の水質

	A <sub>2</sub> O	AO	標準(1)	標準(2)
NH <sub>4</sub> -N	0.5	0.6	0.5	0.5
NO <sub>2</sub> -N	0.0	0.0	0.0	0.0
NO <sub>3</sub> -N	<b>4.8</b>	<b>6.3</b>	<b>2.6</b>	<b>3.0</b>
PO <sub>4</sub> -P	0.0	0.0	0.0	0.0
DO	1.8	1.4	1.1	1.4
MLSS	1,180	1,040	-	1,050
SVI	240	160	-	310

- ・反応槽の結果は 2 槽分の平均値、二沈の結果は 2 か所の平均値とした。
- ・反応槽最終回路の MLSS、SVI は代表槽である 1-5 号、1-7 号、2-3 号の結果である。

表 3 二沈（上段・下段）流出水の水質

	二沈（上段流出水）				二沈（下段流出水）			
	A <sub>2</sub> O	AO	標準(1)	標準(2)	A <sub>2</sub> O	AO	標準(1)	標準(2)
NH <sub>4</sub> -N	0.9	0.6	0.6	0.6	0.8	0.6	0.9	0.9
NO <sub>2</sub> -N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NO <sub>3</sub> -N	<b>4.1</b>	<b>5.8</b>	<b>2.0</b>	<b>2.0</b>	<b>3.9</b>	<b>5.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>
PO <sub>4</sub> -P	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	<b>1.1</b>	<b>0.8</b>

### 3.2 標準法の二沈におけるトレーサー試験

標準法の二沈の上段、下段で水質の差が見られたため、二沈内の流れの特性を把握するためにトレーサー試験を行った。二沈流入扉（図 2 参照）直後の開口部に臭化ナトリウム溶液（完全混合を想定した平均濃度が 1.0 mg/L となる量）を投入し、自動採水器を用いて、上段流出水、下段流出水を 10 分間隔で採水した。採水時間はトレーサー投入時刻である 9 時から 15 時 50 分までとした。

トレーサー物質である臭化物イオンは、イオンクロマトグラフで分析した。トレーサー濃度を図 3、水質分析結果を図 4、図 5 に示す。

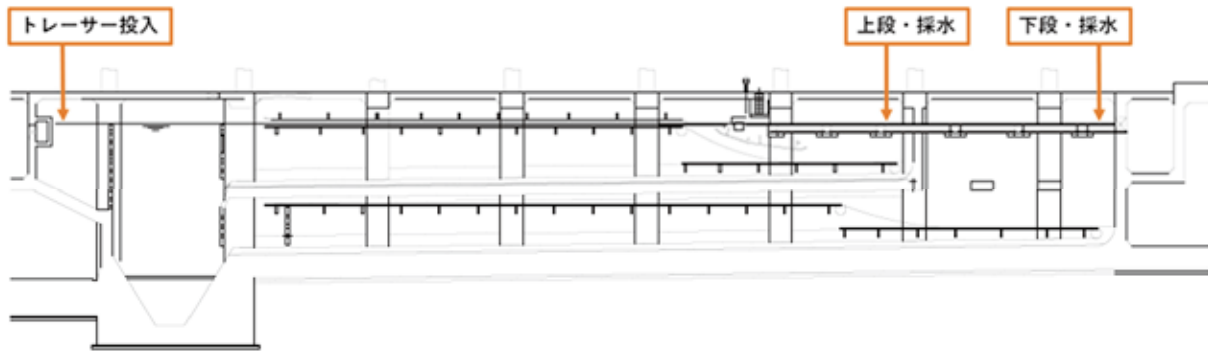


図2 第二沈殿池の断面図

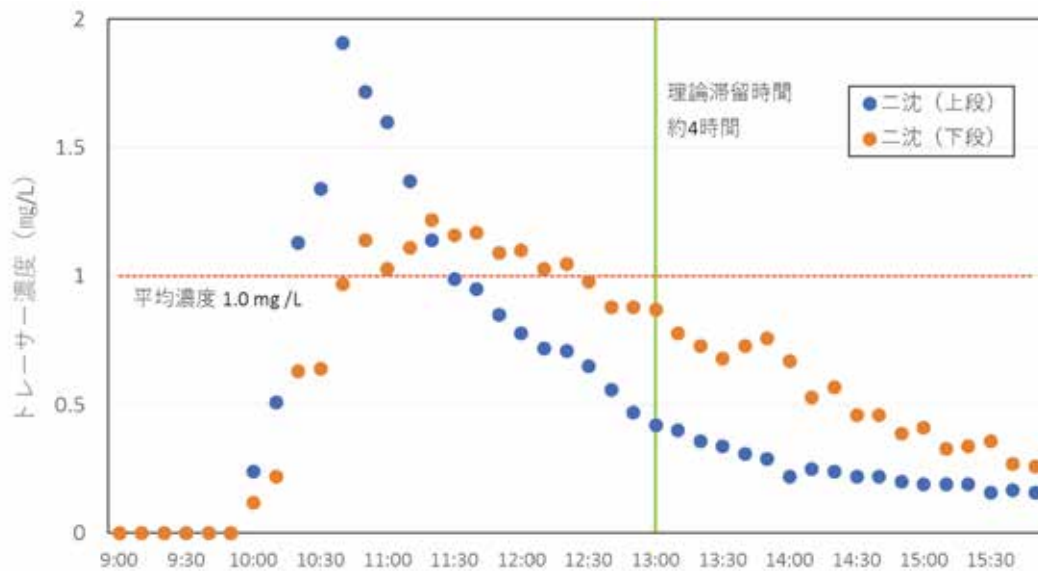


図3 二沈のトレーサー試験結果

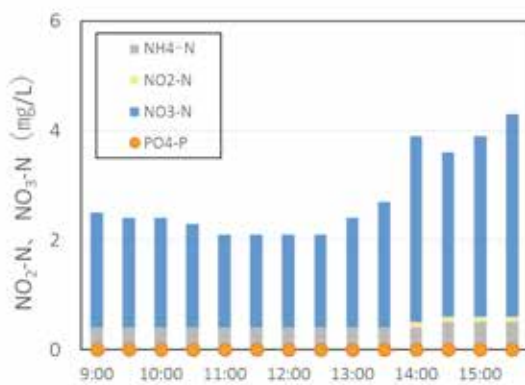


図4 上段流出水の水質

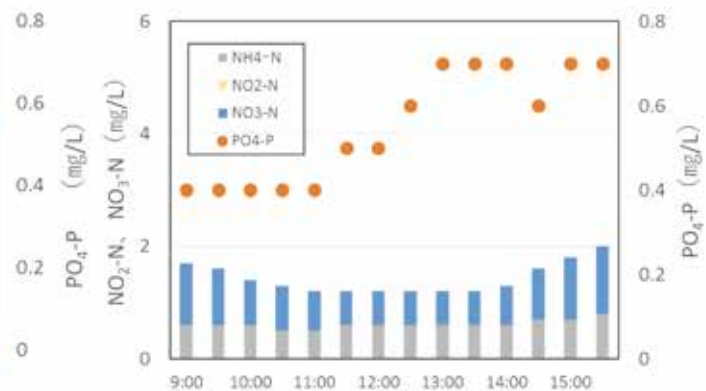


図5 下段流出水の水質

図3から、上段のピーク時間は約10時40分、下段のピーク時間は約11時20分であった。調査時の水量から求めた滞留時間（約4時間）に対し、実際は早く流出していることがわかった。上段は、ピーク形状がシャープであり押し出し流れの傾向が強いが、下段は、ピーク時間が遅くピーク形状もなだらかであることから、上段より混合・拡散を経て流出していると推測された。

また、水質分析結果（図 4、図 5）から、上段と下段で水質に明らかな差があり、下段流出水は NO<sub>3</sub>-N 濃度が低く、PO<sub>4</sub>-P 濃度が高いことが改めて確認された。

### 3.3 机上実験における脱窒速度調査

標準法の二沈・下段では、3.1、3.2 の結果や過去の報告から、脱窒やりんの溶出が起きていると考えられるが、A<sub>2</sub>O、AO では、この水質の変化が見られない。そこで、二沈における固液分離を想定し、活性汚泥の状態が水質に与える影響を机上実験にて確認した。

標準法最終回路の活性汚泥混合液を DO 瓶（同一容量、30 分ごと 300 分までの 10 本×2 セット）へ分取・密栓し、条件①：連続攪拌（汚泥が沈殿しない程度）、条件②：静置した上澄み部、条件③：静置した汚泥沈殿部の 3 つを対象試料として経時変化を確認した（図 6 参照）。条件①は DO 瓶の全量を試料とし、条件②と③はチューブ付きシリンジを用いて、それぞれ約 5mL 程度採取したものを試料とした。

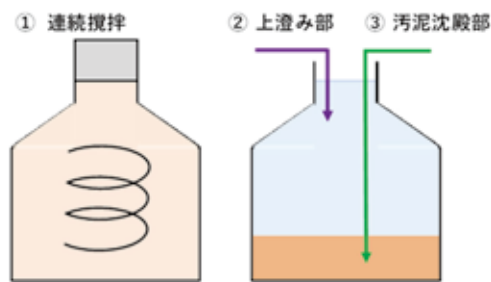


図 6 机上実験のイメージ

また、条件①は、比較のため A<sub>2</sub>O の活性汚泥混合液も同様に調査した。結果を図 7 から図 10 までに示す。

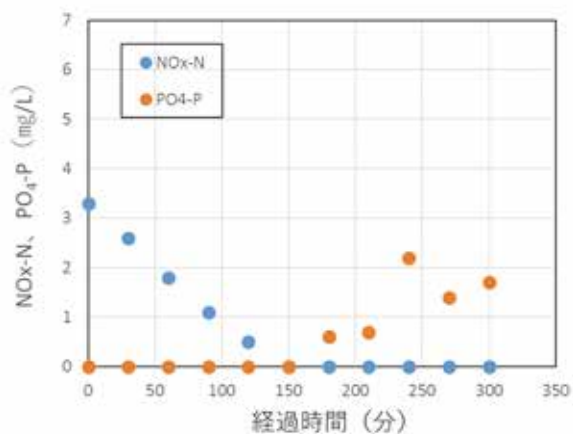


図 7 標準法の連続攪拌（条件①）

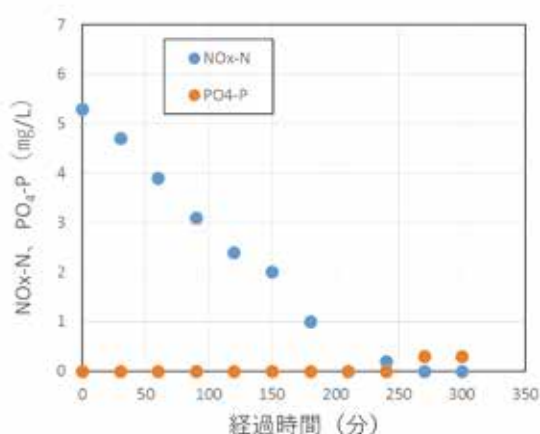


図 8 A<sub>2</sub>O の連続攪拌（条件①）

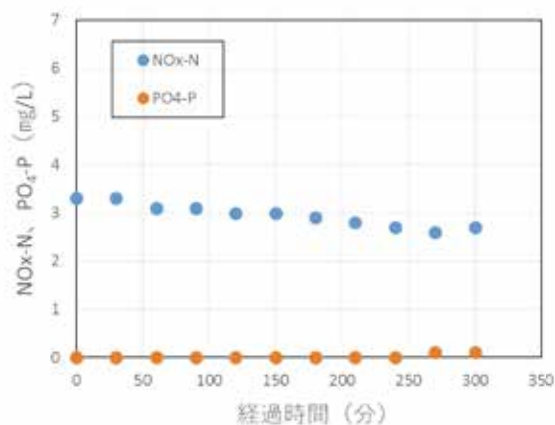


図 9 標準法の上澄み部（条件②）

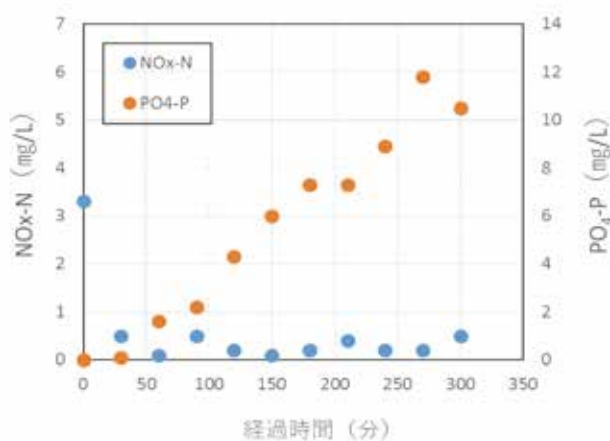


図 10 標準法の汚泥沈殿部（条件③）

なお、実験に用いた活性汚泥について、標準法の MLSS は 1,180 mg/L、DO は 0.9 mg/L、A<sub>2</sub>O の MLSS は 1,040 mg/L、DO は 1.0 mg/L であった。

条件①の結果（図 7 と図 8）、標準法と A<sub>2</sub>O では、初期の NO<sub>x</sub>-N 濃度に違いがあるものの、NO<sub>x</sub>-N 減少の傾きは同等であり、脱窒速度（開始 30 分から 120 分の間）は、標準法は 1.3 mg-N/gMLSS・h、A<sub>2</sub>O は 1.4 mg-N/gMLSS・h で差はなかった。また、どちらも NO<sub>x</sub>-N が 0 mg/L になってから PO<sub>4</sub>-P が上昇した。

一方、条件②（静置した試料の上澄み部、図 9）は、ほとんど変化がなかった。条件③（静置した汚泥沈殿部、図 10）では、初期から汚泥が沈み終わるまでの 60 分間で脱窒が進み、NO<sub>x</sub>-N が 0 mg/L 程度となった。その後、汚泥沈殿部では時間の経過とともに PO<sub>4</sub>-P が上昇した。

### 3.4 二沈クロスコレクタ部の汚泥濃度と処理方式別の SVI

3.3 の机上実験において、活性汚泥の脱窒能力は、標準法と A<sub>2</sub>O で同程度であることがわかったが、A<sub>2</sub>O の二沈では水質の変化は見られない。そこで、実施設の二沈クロスコレクタ部の深さ方向における汚泥濃度を測定した。測定箇所は、二沈のクロスピット上部と非ピット側の 2 か所とし、開口部から汚泥濃度計を投入して測定した。結果を表 4 に示す。なお、調査時の反応槽最終回路の汚泥濃度は、標準法は 1,090 mg/L、A<sub>2</sub>O は 960 mg/L と同等であった。

表 4 二沈クロスコレクタ部の汚泥濃度 (mg/L)

	標準		A <sub>2</sub> O	
	ピット上部	非ピット	ピット上部	非ピット
水深 1.3m	700	660	8	50
水深 3.3m	980	920	350	270
水深 5.3m	1,080	1,000	450	480

調査の結果、A<sub>2</sub>O は二沈クロスコレクタ部で固液分離が進んでいるのに対し、標準法は汚泥の浮遊・分散状態が保たれていることがわかった。

ここで、表 5 に、当センターにおける処理方式別の活性汚泥の SVI をまとめた。標準法は A<sub>2</sub>O、AO に比べ、一年を通して SVI が高いことがわかっている。また、表 1 に示したとおり、標準法の二沈の水面積負荷は、A<sub>2</sub>O、AO に比べて 1.5 倍程度と高い値となっている。

二沈では、汚泥の沈降速度が水面積負荷（流入水量÷沈殿池面積＝上向流速）より大きいことで固液分離を行っているが、汚泥の沈降速度は、MLSS 濃度や SVI に影響される。このことから、標準法の二沈では、A<sub>2</sub>O、AO よりも汚泥が沈みにくい条件であると推測される。

表 5 処理方式別の活性汚泥 SVI

	R2 年度				R3 年度			
	4~6 月	7~9 月	10~12 月	1~3 月	4~6 月	7~9 月	10~12 月	1~3 月
A <sub>2</sub> O	263	272	268	200	212	193	207	185
AO	146	212	194	158	237	273	245	135
標準法	287	353	335	314	317	275	313	328

#### 4. 考察

3の結果から、当センターにおける標準法とA<sub>2</sub>Oの最終回路活性汚泥の脱窒能力に差はないが、二沈における汚泥の状態が異なるために、特に標準法の二沈・下段で脱窒が起きていると推測された。標準法の二沈では、以下のような状況があると考えられる。

- ・標準法の反応槽では好気槽内脱窒が進み、二沈へ流入するNO<sub>x</sub>-N濃度が低くなる。
- ・標準法の二沈（特に下段）では、汚泥の性状や運転条件等により、汚泥が浮遊・分散している状態が長くなり、汚泥が沈むまでの間に脱窒反応が進んでNO<sub>x</sub>-N濃度が0 mg/Lに近づく。
- ・脱窒が進んで嫌氣的な雰囲気となった汚泥沈殿部で、PO<sub>4</sub>-Pが溶出する。

#### 5. 二沈での脱窒による効果

標準法の二沈・下段での脱窒が、当センターの放流水に与える影響を試算した。

標準法二沈の上段と下段で、流出水量は同等という条件のもと、下段流出水で脱窒が進まず、上段と同じ水質とした場合の放流水窒素負荷量と、実際の放流水窒素負荷量を比較した。脱窒が進まない場合の窒素負荷量に対して、実際の窒素負荷量は9.5～15%程度低かった（図11参照）。

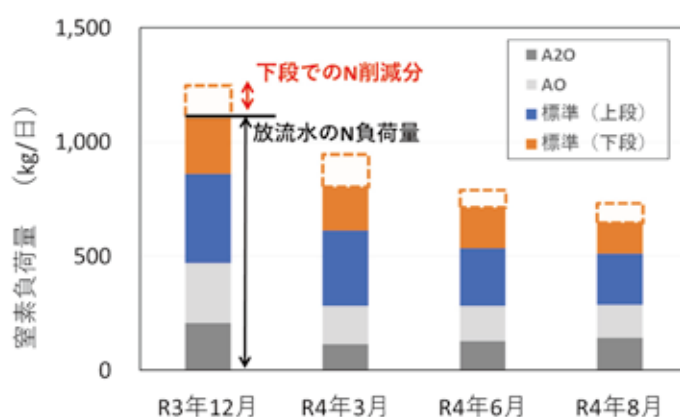


図11 放流水の窒素負荷量の試算

標準法の二沈・下段での脱窒が当センターの放流水に与える影響は大きく、窒素負荷量を10%程度削減する効果があることがわかった。

#### 6. まとめ

- ・反応槽最終回路の水質に対して、標準法の二沈・下段流出水は、NO<sub>x</sub>-N濃度が低下し、PO<sub>4</sub>-P濃度が上昇している。
- ・二沈の上段では押し出し流れの傾向が強く、下段は混合・拡散が進んでいる。
- ・反応槽最終回路の活性汚泥の脱窒速度は、標準法とA<sub>2</sub>Oで同程度である。  
標準法の活性汚泥を静置した場合、汚泥が沈み終わる60分程度でNO<sub>x</sub>-Nが0 mg/Lとなり、沈殿した汚泥ではPO<sub>4</sub>-Pが溶出する。
- ・二沈クロスコレクタ部の深さ方向の汚泥濃度は、標準法とA<sub>2</sub>Oで差があり、A<sub>2</sub>Oは固液分離が進んでいる。
- ・標準法の活性汚泥は、AO、A<sub>2</sub>Oに比べ、一年を通してSVIが高い。

以上のことから、当センターの標準法の二沈・下段では、汚泥が浮遊・分散している時間が長く、脱窒が進行し、嫌氣的な状態となった汚泥沈殿部でリンの溶出が起きていると考えられる。

標準法の二沈・下段での脱窒の状況は、反応槽での処理状況や活性汚泥の性状、運転条件等に影響されると考えられるが、当センターの放流水の窒素負荷量を10%程度削減する大きな効果をもたらしていることがわかった。

## 7. 参考文献

- 1) 高橋克典：中川水再生センター第二沈殿池における窒素の挙動について，平成 30 年度水質技術研究発表会
- 2) 施設管理部環境管理課：好気槽内脱窒要因解明調査委託結果報告書