

## 2-2-5 中野水再生センター反応槽の最適な運用方法の検討

西部第一下水道事務所 落合水再生センター 水質管理担当

○松下 勝一、宅間 大吉、宮島 裕子、福田 宗昭  
前保 竜一（現 浮間水再生センター）  
藤田 勇（現 中川水再生センター）  
長藤 拓実（現 北多摩二号水再生センター）

### 1 はじめに

中野水再生センター（以下、当センター）は2017年度以降、水処理施設の増設部が準高度処理施設（擬似A0法）として順次稼働し、2019年に処理能力が4.6万m<sup>3</sup>/日から10万m<sup>3</sup>/日となった。水処理施設の増設後も運転管理の工夫や施設改良等により、放流水全窒素の更なる低減を図りながら、送風電力量原単位の削減との両立に取り組んできた。今回、施設の特性に合わせた反応槽の最適な運用方法を検討するため、2020年度に送風機運転台数の削減、2021年度に増設部反応槽における窒素低減（ステップ流入の活用と高返送率運転）に取り組んだので報告する。

### 2 施設概要

当センター反応槽の仕様を表1、模式図を図1に示す。1, 2号槽は1995年稼働の既設部反応槽（以下、既設部）でA0法、3~5号槽は2017年度以降に稼働した増設部反応槽（以下、増設部）で擬似A0法として運用している。散気方式は深槽の片側旋回流であるが、嫌気槽と好気槽の容量比率は既設部と増設部で異なっている。嫌気槽は既設部が水中攪拌機（エアレーター兼用）、増設部では散気管で微曝気による攪拌を行っている。なお、水中攪拌機は節電目的で各槽4台中、2台を間欠運転している<sup>1)</sup>。また、散気装置や散気水深が既設部と増設部で異なっており、散気効率は増設部が良好である。既設部は回路数が8（A~H回路）で、好気槽にステップ流入扉が3門（D, F, G回路）あり、現在反応槽中段の1門（F回路）でのステップ流入を運用している。増設部は回路数が6（A~F回路）であるが、処理能力向上の目的で3号槽のみ2020年度改良工事で好気槽各回路に隔壁を追加し、反応槽中段（C回路）にステップ流入扉を1門設置している。

表1 反応槽の仕様

	1号槽	2号槽	3号槽	4号槽	5号槽
稼働年次	1995年		2017年	2018年	2019年
処理方式	AO		擬似AO		
散気方式	深槽・片側旋回流				
嫌気槽容量	2,200m <sup>3</sup>		1,230m <sup>3</sup>		
好気槽容量	5,880m <sup>3</sup>		6,850m <sup>3</sup>		
攪拌方式	水中攪拌機（エアレーター付）		散気管		
散気装置 （気孔径）	散気板 （300~400μm）		高密度配置型散気板 （260μm）		
散気水深	4.5m		5.7m		
回路数	8		11 （2020年度改良）	6	6
ステップ流入扉	3門		1門 （2020年度改良）	なし	なし

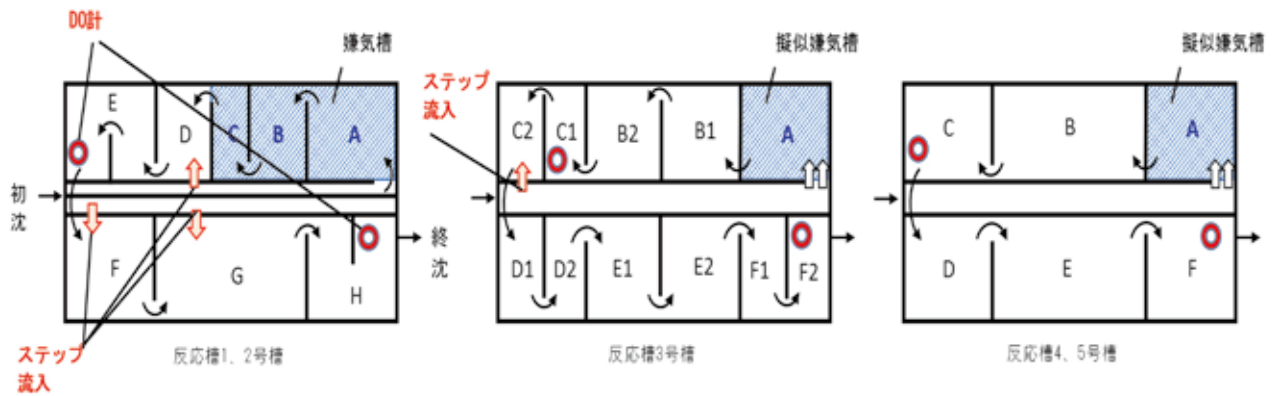


図1 反応槽（1～5号）

### 3 送風機運転台数の削減

当センターは水処理施設の増設後も放流水全窒素と送風電力量原単位の低減の両立に取り組んでいるが、2020年度は送風機電力の効率化を図るため、送風機運転台数の削減に取り組んだ。

#### 3.1 水量配分調整

当センターの送風機と反応槽の関係図を図2に示す。既設送風機（定格出力200kWh×3台）は反応槽1, 2号槽に空気を供給し、増設送風機（定格出力150kWh×3台）は反応槽3～5号槽に空気を供給している。反応槽は流入水量に合わせて既設部2槽、増設部2槽で運用している。

2020年5月14日～15日の晴天時における既設送風機の送風電力量原単位と空気量の経時変化を図3に示す。日中から夜間の送風電力量原単位は0.20～0.30kWh/m<sup>3</sup>と高く、既設送風機は2台運転であったが、早朝は必要空気量が低下し、1台運転となっていた。既設送風機の台数制御設定は必要空気量が8,000m<sup>3</sup>(N)/h以上、10分継続で2台目が起動し、7,600m<sup>3</sup>(N)/h以下、5分継続で1台停止となっている。日中から夜間の必要空気量が2台目起動条件を超えないように、1, 2号槽の処理水量を減らすことで既設送風機1台運転の時間が増加できると考え、揚水量2,600m<sup>3</sup>/h時の1, 2号槽の処理水量を650m<sup>3</sup>/h・槽から段階的に550m<sup>3</sup>/h・槽まで減らした。

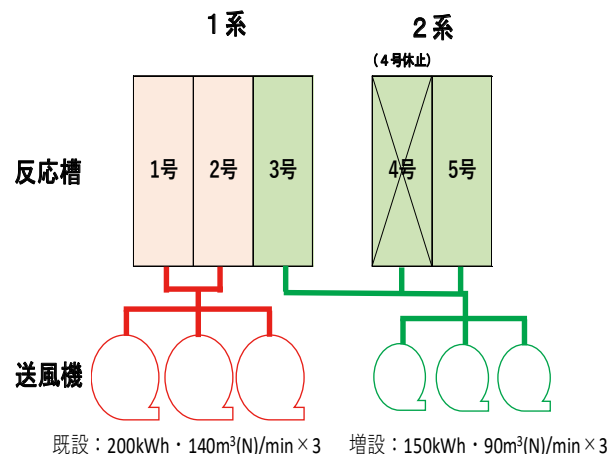


図2 送風機と反応槽の関係図



図3 既設送風機の消費電力分析

### 3.2 二段 DO 制御の導入

次に空気量の制御方法の見直しを検討した。従来の制御方法は最終回路の DO 制御で、必要空気量を反応槽の前半と後半に分配していたが、早朝と夜間の水量変動が 2 倍以上あり、流入水量の変動に必要な空気量が追従できず、送風量のアンバランスが見られていた。そこで、既に整備されている反応槽中段の DO 制御を試行し、反応槽前後半の空気量の平準化と処理の安定化の両立について、1, 2 号槽の運転条件を同一にして、1 号槽を従来の DO 制御（風量配分 6 : 4）、2 号槽を二段 DO 制御として確認した（表 2）。

2020 年 9 月 13 日～14 日の晴天時における送風状況を図 4 と図 5 に示す。図中の DO(1)及び風量(1)は反応槽中段（E 回路）DO 計及び風量、DO(2)及び風量(2)は反応槽末端（H 回路）DO 計及び風量を表す。

従来の DO 制御では空気量の変動に凹凸が見られ、DO(1)は高い時間帯と低い時間帯が生じ、DO(2)は設定値よりも高い状態が半日継続していた。一方、二段 DO 制御の空気量は平準化されており、各 DO 値も比較的安定していた。

表 2 既設反応槽の DO 設定値（2020 年 9 月）

	DO設定値	
	DO(1)	DO(2)
1号槽（従来DO制御）	制御OFF	1.0mg/L
2号槽（二段DO制御）	0.8mg/L	1.0mg/L



図 4 従来 DO 制御の空気量推移（1号槽）

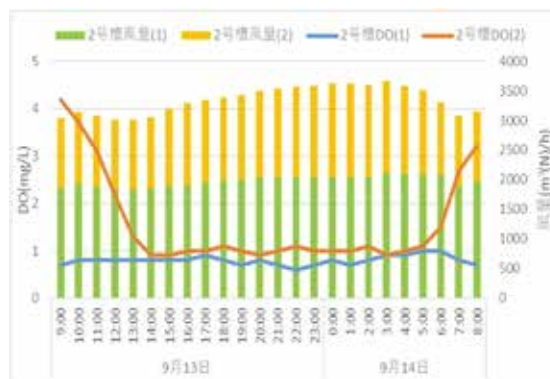


図 5 二段 DO 制御の空気量推移（2号槽）

反応槽の水量配分調整を継続し、二段 DO 制御を全槽に展開することで、通常時において既設送風機が常時 1 台運転となり送風機運転台数の削減が可能となった。その結果、2020 年度の送風電力量及び送風電力量原単位は前年度比で約 10%減少した（表 3）。

表 3 送風電力実績値の比較

年度	2019	2020
降雨量(mm)	1,679.0	1,278.5
処理水量(m <sup>3</sup> )	21,942,570	22,073,400
送風電力量(kWh)	3,497,180	3,165,160
送風電力量原単位(kWh/m <sup>3</sup> )	0.159	0.143

### 4 窒素低減の取り組み

当センターの放流水全窒素は年平均値 10mg/L 程度であり、流総計画上の計画処理水質 9mg/L を満たしていない状況である。既往の調査で新規稼働した増設部の窒素濃度上昇を問題視し、既設部でのステップ流入の活用による窒素低減の取り組みを報告<sup>2)</sup>しているが、2020 年度に反応槽 3 号槽の改良工事でステップ流入扉を設置したことにより、更なる窒素低減が可能となった。そこで、2021 年度にステップ流入の活用（3 号槽）と高返送

率運転（5号槽）による増設部での窒素低減に取り組んだ。ステップ流入は反応槽前段のMLSS濃度が高くなるため硝化脱窒が進行しやすく、反応槽後段では有機物が供給されるため脱窒に有利に働き、窒素低減が期待できる。また、高返送率運転は硝化が良好であれば嫌気槽での脱窒量に応じて窒素が削減できる。

#### 4.1 ステップ比の確認

反応槽3号槽（図1参照）のステップ流入扉はC2回路に位置し、手動の可動堰である。そのため、堰高は固定して運転しているが流入水量の増減に伴う導水渠内の水位変化によりステップ比が大きく変動する可能性がある。そこで一日のステップ流入の状況を確認した。ステップ流入扉全開時、ステップ流入前後のB2回路とD2回路の活性汚泥を2時間間隔で自動採水器を使用して採水し、MLSSを測定した。図6に示すようにB2回路のMLSSは1,690～2,210mg/L、D2回路は1,220～1,510 mg/Lで推移していた。各MLSSと返送比から算出した結果、ステップ比は概ね0.4（0.35～0.44）で安定していた。

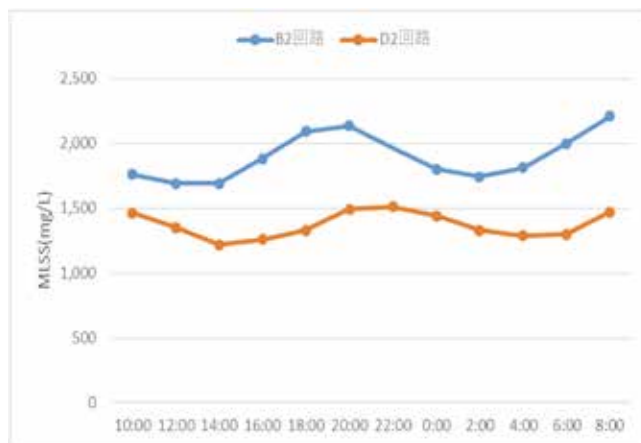


図6 ステップ流入前後のMLSS濃度の推移

#### 4.2 反応槽調査（増設部反応槽）

3号槽のステップ流入及び5号槽の高返送率運転による窒素低減効果を確認するため、各槽の運転条件を同一にして晴天時に反応槽各回路で採水し、窒素とりんの処理状況確認した。反応槽調査の運転条件を表4に示す。

表4 反応槽調査の運転条件

	調査槽	期間（調査日）	ステップ流入	返送率	DO(1)設定値	DO(2)設定値
RUN①	3号槽	9/3～9/20 (9/14)	なし（全閉）	50%	0.5mg/L	1.0mg/L
RUN②		9/21～10/19 (9/28)	あり（全開）			
RUN③	5号槽	9/3～9/21 (9/14)	-	50%	0.5mg/L	1.0mg/L
RUN④		9/22～9/29 (9/28)		90%		

ステップ流入の有無による窒素処理状況を図7に示す。ステップ流入あり（RUN②）ではステップ流入後D回路の硝酸性窒素がステップ流入前のC回路よりも3mg/L程度減少しており、脱窒していると考えられる。また、ステップ流入あり（RUN②）の場合でも最終回路で硝化は完了しており、ステップ流入なし（RUN①）と比べて無機性窒素で約1.5mg/L低かった。次にステップ流入の有無によるりん処理状況を図8に示す。A回路（擬似嫌気槽）のりん酸性りんはステップ流入あり（RUN②）では同程度であったが、反応槽前段でのりんの低下は著しく、C回路でりん処理は完了していた。また、ステップ流入（C回路）以降のりんの残存はみられなかった。



図7 ステップ流入有無の窒素処理状況



図8 ステップ流入有無りん処理状況

高返送率運転による窒素処理状況を図9に示す。高返送率運転（RUN④）においてもA回路（擬似嫌気槽）での硝酸性窒素の残存が見られず、脱窒は完了していた。また、A回路のアンモニア性窒素は返送汚泥の希釈により通常運転（RUN③）と比べて低く、この差が最終回路まで引き継がれ、無機性窒素は高返送率運転（RUN④）の方が1.7mg/L低かった。次に高返送率運転によるりん処理状況を図10に示す。高返送率運転（RUN④）ではA回路のりん酸性りんは通常運転（RUN③）と比べて低く、B回路以降のりんの低下が緩やかになった。このとき、最終回路のりん酸性りんは0.6mg/Lであった。また、高返送率運転（RUN④）では降雨により流入水の有機物が低い状態が続くとさらにりん処理が低下し、最終回路のりん酸性りんは1mg/Lを超える場合があった。



図9 高返送率運転による窒素処理状況



図10 高返送率運転によるりん処理状況

## 5 反応槽の最適な運用方法の検討

当センターは送風機運転台数の削減の取組に加えて反応槽の最適な運用方法の検討を行ってきており、その検討内容と実施した年度を表5に示す。2020年度は反応槽の水量配分調整と二段D0制御の導入による送風機の運転台数の削減に取り組み、2021年度も継続して実施している。1,2号槽のステップ流入による窒素低減は送率を通常の50%から最高70%まで上げて窒素低減を図った。2021年度は1,2号槽に加えて、3号槽のステップ流入を試行し、前述のとおり窒素低減効果を確認した。5号槽の高返送率運転（返送率90%）は前述のとおり窒素低減効果を確認したが、りん処理に影響が生じたため、返送率70%を基本として、窒素低減を図っている。今後も各反応槽の特性や設備上の制約を十考慮して総合的に検討し、取り組んでいく必要がある。

表 5 反応槽の最適な運用方法の検討

2020年度	2021年度 (9月末時点)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・反応槽水量配分調整 (4月～)</li> <li>・二段DO制御 (9月～)</li> <li>・1, 2号槽ステップ流入 (制限曝気併用) (8月～)</li> <li>・返送率50～70% (1, 2, 4, 5号槽)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・反応槽水量配分調整 (継続)</li> <li>・二段DO制御 (継続)</li> <li>・1, 2号槽ステップ流入 (制限曝気併用) (継続)</li> <li>・3号槽ステップ流入 (6月～)</li> <li>・返送率1～3号槽50%、5号槽70～90%</li> </ul>

2019年度第1四半期から2021年度第2四半期までの送風電力量原単位と放流水全窒素の実績を図11に示す。送風電力量原単位は第1, 4四半期が高い傾向であったが、送風機運転台数の削減により2020年度では減少し、2021年度も同様の傾向であった。放流水全窒素は2019年度、2020年度ともに同様の傾向であったが、2021年度では増設部における窒素低減の取り組みにより減少幅が大きくなった。

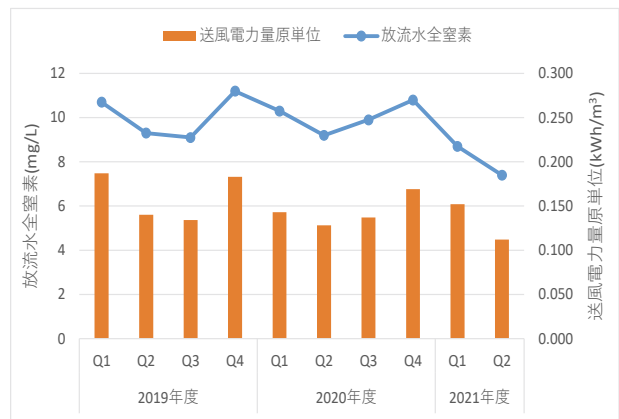


図 11 放流水全窒素と送風電力量原単位実績

## 6 まとめ

- ・反応槽の水量配分調整と二段 DO 制御の導入により送風機運転台数を削減し、2020年度の送風電力量及び送風電力量原単位は前年度比で約 10% 減であった。
- ・反応槽 3 号槽のステップ比は概ね 0.4 で運用可能で、ステップ流入による窒素低減は約 10% 程度であることを確認した。
- ・反応槽 5 号槽の高返送率 90% 運転での窒素低減は約 10% 程度であったが、りん処理に影響が生じることを確認した。
- ・増設部におけるステップ流入の活用と高返送率運転による窒素低減の取り組みにより、2021 年度の放流水全窒素は減少傾向である。

引き続き、施設の特性を考慮した最適な運用方法の検討を継続し、低水温期における処理状況等の把握に努めていく。また、将来計画されている既設部の準高度化（擬似 A0 法）に向けて、関係部署と協力して課題を整理し、再構築時における水処理施設の整備や改善に繋げていく。

### <参考文献>

- 1) 宅間大吉ほか、「中野水再生センター反応槽攪拌機の運転縮減による電力量の削減について」、2010 年度水質技術研究発表会発表論文
- 2) 後上一美ほか、「中野水再生センターにおける反応槽の窒素削減調査について」、2018 年度水質技術研究発表会発表論文