

# 流入水質特性を反映した 高度処理方式選定方法の検討

○ 水再生水質課 浅野 卓哉  
事業調整課 古賀 淳一

## 1. はじめに

横浜市では、東京湾の富栄養化対策として、高度処理施設（A<sub>2</sub>O法）の整備を既存施設の更新にあわせて進めている。しかし、今後の下水道計画全体のなかで、公共用水域の水質向上と財政計画や温暖化対策、土木再構築とのバランスが課題となっている。一方で、各水再生センターの既存標準法施設で擬似AO法運転に取り組んだ結果、追加コストなく処理水質が向上し、流入負荷の低いセンターでは既に目標水質レベルに達している。こうした背景から、早期の水質改善および今後の施設整備の最適化を図るためには、必要な放流水質を得るために適切な処理方式の組み合わせや目標水質の設定を、流入水質特性を反映してセンター毎に検討していくことが望ましい。

本検討では、本市実績や知見を元に、流入水質特性を反映した処理方式の選定方法案（以下、方法案）を作成した。また、実際の流入水質を用いてケーススタディを行い、反応タンク容量計算方法と活性汚泥モデル（以下、ASM）を用いて、その妥当性について検討した。

## 2. 処理方式選定方法案の考え方

本検討の狙いは、施設計画・設計の最適化にある。現在本市では、下水道計画基準の見直し作業を行っている。この際に、従来の一律計画から脱却し、各センターの流入水質など地域特性を考慮した処理方式の合理的選択が可能となれば、より早期かつ安価に水質改善が進むものと期待できる。同時に、A<sub>2</sub>O法と擬似AO法といった複数処理方式の組み合わせや、流入水質特性に応じたセンター毎の目標水質設定といった、全体的な総量負荷削減に向けた戦略的な計画立案も容易となる。さらに、反応タンク容量計算方法やASMの活用により、既存施設能力の評価および施設増築・ネットワーク化の必要性、また将来的な流入負荷変動への対応策といった課題にも応用することができる。

下水道法施行令では、下水道管理者が自ら定める計画放流水質の区分に応じた処理方式を選定することとしている。しかし、実際には流入水質が異なれば、放流水質基準達成に必要な処理方式は異なる。本市ではA<sub>2</sub>O法や擬似AO法についてデータを収集し、流入水質特性による処理性能の違いを定量的に評価する手法を検討してきた。

本方法案では、本市で実績のある4つの処理方式（標準法、擬似AO法、AO法、A<sub>2</sub>O法）について、それぞれ達成可能な窒素・リンの除去量を流入水質から定量的に算出し、目標水質達成のための必要除去量と比較することで処理方式を合理的に選定することとした（図-1）。

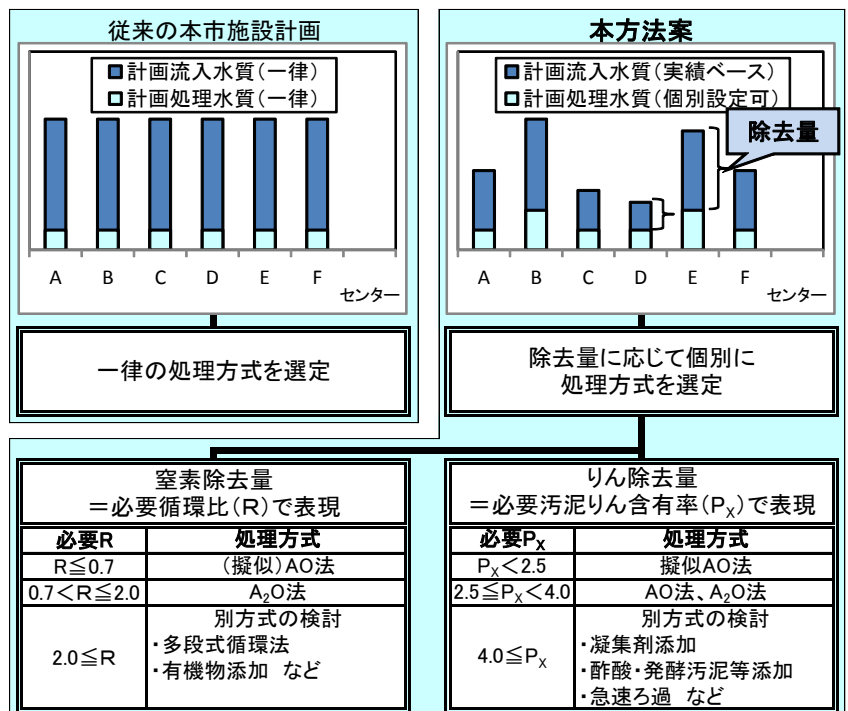


図-1 処理方式選定方法案の考え方

### 3. 窒素・りん除去量の表現方法

#### 3.1 窒素除去量

A<sub>2</sub>O法の窒素除去プロセス模式図を図-2に示す。窒素除去は図中①～③のプロセスで行われる。(擬似)AO法では①により、A<sub>2</sub>O法では①と②により、標準法と比較して除去率がそれぞれ約10%、20%向上する<sup>1)</sup>。なお、我々の調査結果では、AO法と擬似AO法では脱窒性能に差は認められなかった<sup>2)</sup>。

A<sub>2</sub>O法容量計算方法<sup>3)</sup>において、①②は右式(1)で必要循環比(R:返送比+循環比)として表現され、③の除去量も同時に算出される。本方法案ではこのRを用いて(擬似)AO法かA<sub>2</sub>O法かを判断することとした(図-1)。Rが小さければ、循環ポンプは必要なく返送のみで目標達成可能と判断する。ただし、返送比が高いとりん除去に悪影響を及ぼすため<sup>4)</sup>、R≤0.7の場合のみをAO法とした。

#### 3.2 りん除去量

生物学的りん除去は、余剰汚泥のりん含有率(P<sub>X</sub>)を高めることで行われる(図-3)。設計指針<sup>3)</sup>では高度処理により3~4%のP<sub>X</sub>が得られるとあるが、実際にはP<sub>X</sub>は各タンクの滞留時間(HRT)のほか、流入水中の有機酸やNO<sub>x</sub>-Nなど多くの要素に左右される。これらの要素が複雑に絡み合い、りん除去の不安定性と定量的知見不足の原因となっている<sup>4)</sup>。

反応タンクの収支解析から、目標水質を達成するための必要P<sub>X</sub>は右式(2)で算出できる。必要P<sub>X</sub>は反応タンク流入水のBOD/T-P比と負の相関関係にあり、流入水質特性からみたりん除去の難易度を表している<sup>1)</sup>。また、各処理方式のP<sub>X</sub>実測値は、擬似AO法では2.3~2.9%、A<sub>2</sub>O法では2.8~3.5%と差が認められた(図-4)。

上記のことから、本方法案では各処理方式の達成可能なP<sub>X</sub>値を設定し、必要P<sub>X</sub>との比較により処理方式を選定することとした(図-1)。

#### 4. ケーススタディ

次に、4センターの流入水質を用いて試算を行った。同時に、算出された処理方式について容量計算を行い、ASMを用いて処理性能の机上検証を行った。流入水質は冬季の24時間コンポジット試料の測定値を用いた。容量計算は設計指針<sup>3)</sup>に準拠し、本市独自データを追加した方法を用いた<sup>5)</sup>。(擬似)AO法についてはA<sub>2</sub>O法として計算後、BODSS負荷設定を上げて、無酸素槽容量を0m<sup>3</sup>とした。ASMは既存A<sub>2</sub>O法施設で採取したデータを基に構築した。キャリブレーションレベルは文献<sup>6)</sup>のB~Cに相当し、各条件とも同じパラメータを採用した。有機物分画はSTOWA法に準拠した。擬似AO法の処理水PO<sub>4</sub>-Pについては、AO法として計算後、P<sub>X</sub>差(図-4)を考慮して算出した。

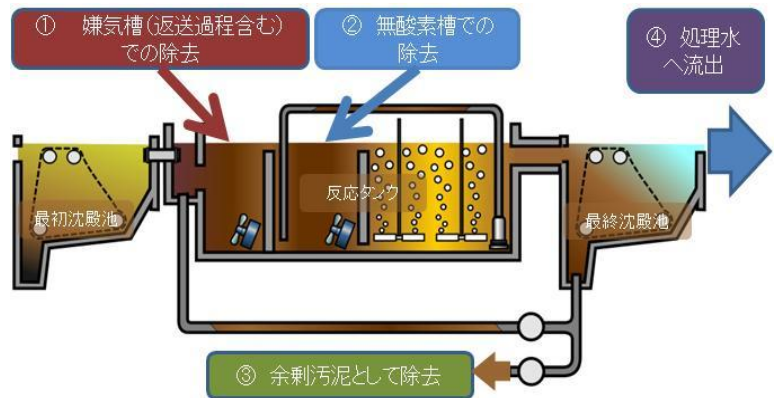


図-2 窒素除去プロセス

$$R = \frac{\alpha \cdot C_{TN,in}}{C_{NOx,out}} - 1 \dots (1)$$

$C_{TN,in}$ : 流入水T-N濃度 (mg/L)  
 $C_{Kj-N,out}$ : 処理水有機体窒素濃度 (mg/L)  
 $C_{NOx,out}$ : 目標処理水NO<sub>x</sub>-N濃度 (mg/L)  
 $\alpha$ :  $C_{TN,in}$ に対する硝化対象窒素比  
 $\beta$ :  $C_{TN,in}$ に対する余剰汚泥として除去される窒素比

$$\alpha = 1 - \beta - C_{Kj-N,out}/C_{TN,in}$$

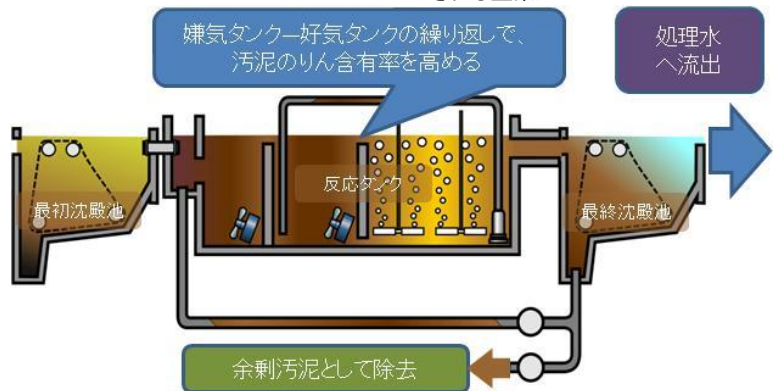
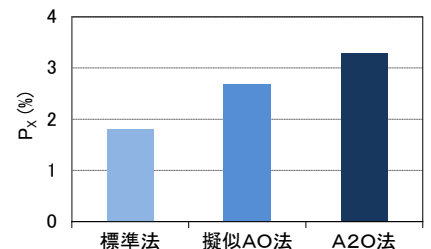


図-3 りん除去プロセス



\*H18~H20本市各系列実測値の平均値  
 系列数:標準法×2、擬似AO法×11、A2O法×5  
 図-4 各処理方式のP<sub>X</sub>(実測値)

$$P_X = \frac{(C_{TP,in} - C_{TP,out}) \cdot Q_{in}}{C_{RSS} \cdot Q_{es}} \times 100 \dots (2)$$

$C_{TP,in}$ : 流入水T-P濃度 (mg/L)  
 $C_{TP,out}$ : 目標処理水T-P濃度 (mg/L)  
 $C_{RSS}$ : 余剰汚泥濃度 (mg/L)  
 $Q_{in}$ : 処理水量 (m<sup>3</sup>/d)  
 $Q_{es}$ : 余剰汚泥量 (m<sup>3</sup>/d)

試算条件と処理方式選定・容量計算結果およびASM検証結果を表-1に示す。流入水質特性により処理方式が選定され、いずれも目標水質達成に十分な窒素・りん除去性能をもつことが示された。

### 5. 本方法案のメリットと課題

本方法案の特徴および計画策定に適用する際のメリットと課題を表-2に整理した。窒素・りん除去の定量的評価に基づく処理方式選定が可能となれば、事業計画の様々な面で応用が期待できる。

窒素・りん除去に不向きな流入水質特性を持つ施設においては、有機物添加や凝集剤添加の必要性も予め検討することができる。また、長期的な計画策定には、将来的な負荷変動や土木再構築に加え、新たな処理技術（膜処理など）の開発動向についても念頭におく必要がある。そのためには、本検討のような定量的評価手法やモニタリング体制を強化し、定期的な性能評価の実施および計画へのフィードバックを促すことが重要となる。

なお、擬似AO法による窒素除去向上は、嫌気槽での脱窒に加え、微曝気による硝化脱窒同時進行や、隔壁上部のエアリフト効果や逆流による循環効果といった現象も寄与している。こうした点を施設設備に反映させれば、擬似AO法の窒素・りん同時除去法としての適用も可能になると考えられる。流入負荷の低いセンターでは特に有効であるため、今後の技術開発が期待される。

表-1 試算条件・結果とASM検証結果

		I	II	III	IV	
試算条件	MLSS (mg/L)	2000				
	A-SRT (d)	5.0				
	目標水質 (mg/L)	T-N	10			
		T-P	0.5			
	流入水質 (mg/L)	SS	46	39	61	61
		BOD	69	98	91	90
		T-N	19	22	29	27
T-P		2.1	2.4	3.6	3.1	
BOD/T-N		3.5	4.5	3.1	3.3	
BOD/T-P		32.6	40.8	25.0	29.3	
処理方式選定・容量計算結果	必要R	0.5	0.7	1.4	1.2	
	必要P <sub>x</sub> (%)	2.5	2.8	3.7	3.1	
	処理方式	擬似AO法	AO法	A <sub>2</sub> O法	A <sub>2</sub> O法	
	反応タンク HRT (hr)	全体	5.1	5.4	10.3	9.3
		嫌気	1.3	1.3	2.0	1.5
		無酸素	0.0	0.0	3.2	2.7
		好気	3.8	4.1	5.1	5.0
循環比	0.0	0.0	1.0	1.0		
返送比	0.5	0.7	0.5	0.5		
ASM検証	処理水質 (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N	0.0	0.1	0.1	0.0
		NO <sub>3</sub> -N	6.6	6.8	5.7	6.7
		PO <sub>4</sub> -P	0.4	0.1	0.4	0.3

表-2 本方法案の特徴・メリット・課題

特徴	メリット	課題
① 流入水質特性を反映した処理方式選定	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画・設計最適化によるコスト縮減</li> <li>戦略的な計画立案が容易に</li> <li>共同負担制度の活用が容易に</li> <li>有機物・凝集剤添加の必要性検討が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>下水道法施行令との整合性</li> <li>将来的な流入負荷変動への対応</li> <li>定期的な性能評価</li> <li>有機物除去・最終沈殿池管理への対応</li> </ul>
② 処理方式毎の窒素・りん除去量の定量化	<ul style="list-style-type: none"> <li>複数処理方式の合理的選択が可能</li> <li>費用対効果の算出が容易に</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定量化精度の向上(特にりん除去)</li> <li>モニタリング体制の強化</li> <li>実績のない処理方式への対応</li> </ul>
③ 容量計算方法の活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存施設処理能力の評価が可能</li> <li>施設増築や土木再構築計画に応用可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>容量計算精度の向上</li> <li>検証手法の確立(ASMなど)</li> </ul>

### 6. まとめ

流入水質特性を反映した高度処理方式選定方法案を作成し、次の結果が得られた。

- ・目標水質を得るために必要な窒素・りん除去量を処理方式毎に定量的に表現することで、流入水質特性に応じた処理方式を合理的に選定する方法が示された。
- ・容量計算方法とASMを用いて処理方式選定結果の妥当性を検証し、良好な結果が得られた。

#### 参考文献

- 1) 浅野卓哉他「反応タンク流入水質の違いが窒素・りん除去に与える影響の評価」第44回下水道研究発表会講演集 pp.691
  - 2) 糸山景子他「擬似AO法における窒素除去性能向上効果の検証」第46回下水道協会発表会講演集
  - 3) 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 -2001年版- (社)日本下水道協会
  - 4) 浅野卓哉他「生物学的りん除去法におけるりん除去変動機構の解析」第42回下水道研究発表会講演集 pp.777
  - 5) 浅野卓哉他「A<sub>2</sub>O法における反応タンク滞留時間短縮運転の検討」第45回下水道協会発表会講演集 pp.746
  - 6) 「活性汚泥モデルの実務利用の技術評価に関する報告書」H18.3 日本下水道事業団技術開発部
- 問い合わせ先: 横浜市環境創造局水再生水質課 浅野 卓哉 TEL 045-621-4343 E-mail [ta01-asano@city.yokohama.jp](mailto:ta01-asano@city.yokohama.jp)