

N-3 運転管理の高度化を目指した 下水処理場機能評価システムの開発

○福嶋 俊貴^{1*}・宗宮 功²

¹富士電機水環境システムズ株式会社 (〒191-8502 東京都日野市富士町1番地)

²龍谷大学理工学部環境ソリューション工学科 (〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷1-5)

* E-mail: fukushima-toshiki@fesys.co.jp

1. はじめに

「望ましい水環境の保全・創出」「下水道資源の有効利用」「地球環境の保全」等、下水処理場の役割はさらに重要になりつつある。下水処理場の機能を水質浄化とエネルギー消費の観点から評価するシミュレータを開発し、高度処理化や系列間調整による運転管理の高度化について検討したので報告する。

2. 下水処理場機能評価システム (PES) の概要

下水処理場機能評価システム (PES ; Performance Evaluation System) は共通設備、水処理設備、汚泥処理設備を対象として水量・水質データを利用して水処理・汚泥処理を連携した処理水質と使用電力量を総合的に評価するものである。水質データとしては有機物 (BOD)・固形物 (SS)・窒素 (T-N)・リン (T-P) を一体として取扱い、計算結果はフロー図形式で個別に表示可能としている。一例として循環式硝化脱窒法での SS のケースを図 1 に示す。

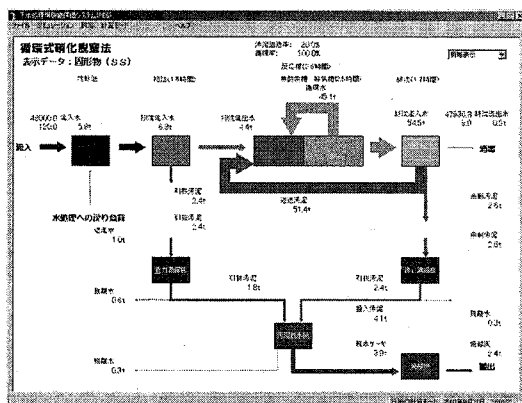


図 1 物質フロー表示画面 (固形物 ; SS の例)

概略表示では負荷量を表示し、流入水 SS が各プロセスで沈殿・分解等により処理され、結果として放流水と焼却灰へ移行する様子がフローとして理解できる。詳細表示では負荷量に流量・濃度も合わせて表示し、各プロセスでの質変換過程の把握が可能である。

ここでは処理場全体の物質の流れを把握する事に重点をおき、水処理における微生物反応は一次反応式で表現し (ただし、窒素に関しては硝化率・脱窒率で設定し、ほぼ完全硝化・脱窒としている)、汚泥処理における固液分離は回収率で表現している。¹⁾ 汚泥処理工程も含めた検討をするにあたり、遠心濃縮機と遠心脱水機を例として運転実績データから投入汚泥濃度・薬注率を入力とし、濃縮汚泥濃度や脱水ケーキ含水率を出力とする汚泥処理個別モデルを開発して適用した。

また、ポンプ・ブロワ・汚泥処理設備を対象として、運転状況に応じて変化する電力量と固定的に発生する共通電力量の合計として計算する電力量モデルを作成して評価した。生物学的窒素除去の場合は硝化に伴い必要空気量が增大するのでブロワの電力量の詳細な検討が重要である。ここでは、下水道設計計画・設計指針と解説 2001 年版²⁾に準拠し、有機物酸化・硝化・内生呼吸・D O 維持から必要酸素量を計算し、微細気泡の旋回流方式として酸素移動効率を 15% と設定して必要空気量を算出しブロワ電力量を算出した。

検討の対象としたモデル処理場の運転条件・滞留時間・流入水質といった仕様を表 1 に示す。処理場としては、48,000m³/日という中規模処理場とし、水処理系列を 2 系列もち、1 系は標準活性汚泥法 (以下では標準法) 2 系のみを循環式硝化脱窒法 (以下では循環法) に改良するものとした。初沈汚泥は初期条件として下水処理量の一定値 (2%) を引き抜くものとし、余剰汚泥は MLSS が 1400mg/L で一定となるように引き抜くこととした。

表1 モデル処理場の仕様一覧

運転条件	下水処理量	48,000m ³ /日
	水温	20℃
	返送汚泥率	20%固定
	初沈汚泥	下水処理量の2%引抜
	MLSS	1400mg/L
滞留時間	初沈	1.5時間
	反応タンク	8.0時間
	終沈	2.0時間
流入水質	BOD	120mg/L(溶解性:35%)
	SS	120mg/L(VSS:60%)
	窒素	30mg/L(NH4-N:20mg/L)
	リン	3.0mg/L(PO4-P:1.5mg/L)
汚泥処理	濃縮	分離濃縮(重力+遠心)
	脱水	遠心脱水機
	焼却	流動焼却炉

3. 運転管理高度化の検討

(1) 高度処理化を対象とした運転管理の検討

標準法のプラントを循環法に改築する際の処理機能の変化を検討した。現行の反応タンクを使用し、全体8時間の反応時間のうち前半2.5時間分を無酸素槽とし、後半5.5時間分を好気槽とした。

運転管理の検討結果として、循環率を0%から300%まで変化させた時の処理状況をBOD・T-N・SSについて標準法(硝化あり)との比較も含めて図2に示す。循環率を上げるに従い脱窒によりT-Nの処理水質が向上し、高度処理の目標として設定される10mg/Lを達成するには循環率100%とすると8.5mg/Lとなり達成できることがわかる。BODは好気槽での滞留時間が短くなるため標準法よりも若干悪くなるが、循環率を上げるに従い脱窒での利用割合が増え処理水質は向上する。SSについては終沈での滞留時間が変わらないため、ほとんど変化がない。

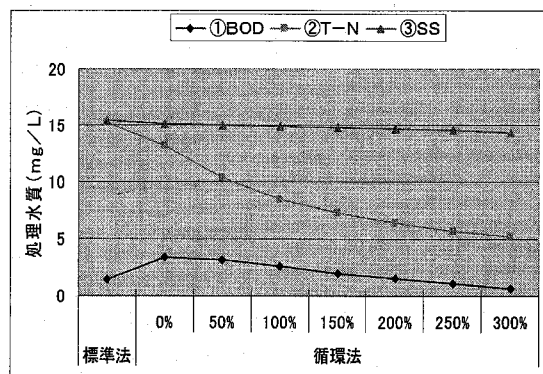


図2 循環率の増加による処理水質の変化

今回は循環率の変更に伴う反応時間の影響を検討するためにMLSSは1400mg/Lで一定となるように余剰汚泥の引抜量を変化させた。MLSSは1404~1424mg/L

ではば一定となり余剰汚泥引抜量は循環率を上げるに従い減少し、循環率200%では225m³と標準法の半分以下となり高度処理化により処理すべき汚泥の減少にも繋がることがわかった。

処理水質と使用電力量を総合的に評価するために、循環法が目標としている窒素に着目して窒素除去負荷量と使用電力量を使用して以下の(1)式で窒素除去原単位を算出した。

$$\text{窒素除去原単位 (kWh/kg)} = \frac{\text{使用電力量 (kWh)}}{\text{窒素除去負荷量 (kg)}} \dots (1)$$

結果を図3に示すが、循環率が200%の時22.85kWh/kgとなり、最適と評価された。同様に水処理設備だけの電力量を対象とした原単位も示しているが100%が最小と計算され、汚泥処理設備も含めた総合評価の重要性が確認できた。

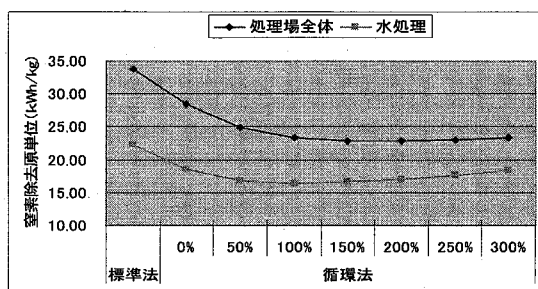


図3 窒素除去原単位の変化

(2) 複数水処理系列での負荷調整

水処理系列を複数持つ処理場において系列間の処理量を調整することにより処理場全体としての放流負荷を減少させることを目指して分配比による処理水質(放流負荷)と使用電力量について検討した。条件としては表2に示すように循環法に改造し窒素除去能力の高い2系を1.5倍(36,000m³/日)まで処理量を増加させ、その分を標準法である1系の処理量を減少させた場合の処理水質と使用電力量を計算した。

表2 負荷量分配ケース

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
1系(標準法)	24000	21000	18000	15000	12000
2系(循環法)	24000	27000	30000	33000	36000

各ケースにおける2系列のT-Nの処理水質と使用電力量を図4に示す。2系は処理量が増加するに従い反応時間が短くなるため処理水質は悪化し、使用電力量も増加する。(BOD・SS・T-Pも同様)一方、1系は処理量が減少するに従い使用電力量は減少し処理水質も一旦向上するがケース4・5ではむしろ悪化していた。(BOD・SS・T-Pはすべて向上)

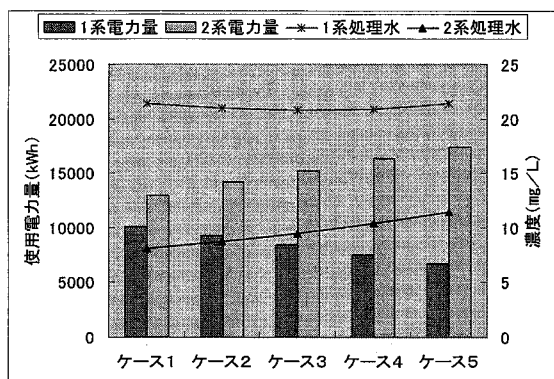


図4 処理水質と使用電力量

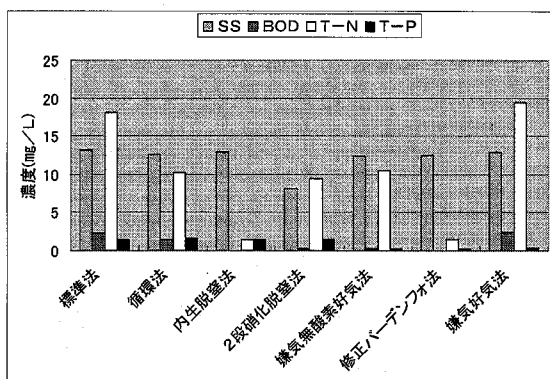


図5 各方式による処理水質

処理場全体としての使用電力量は2系での処理量が増加するに従い増加するが2系のほうが窒素除去効率が良い(窒素除去原単位が小さい)ため、処理場全体としての窒素除去原単位はケース3(1系;18000、2系;30000)が30.35 kWh/kgで最適と評価された。

(3) 高度処理共同負担制度の導入事前検討

閉鎖性水域における高度処理の積極的な推進のために発行された高度処理共同負担制度に関するガイドラインと解説(案)³⁾では削減目標量を達成するための検討手順が示され、第1ステップとしてすべての処理場において個別処理方式についての高度処理化の検討が規定されている。そこで個々の処理場での事前検討を支援するツールとしてのPESの利用を試みた。

既設の標準法の施設をガイドラインで検討されている①循環法②内生脱窒法③2段階硝化脱窒法④嫌気無酸素好気法⑤修正バーデンフォ法⑥嫌気好気法へ改造した場合の処理水質と使用電力量について検討した。反応タンクの容積は下水道設計計画・設計指針と解説2001年版²⁾やガイドライン³⁾を参考に標準的な数値を採用した。循環率は100%とし、MLSSを1200 mg/Lとなるように余剰汚泥を引き抜くこととした。

各処理方式による処理水質の計算結果を図5に示す。窒素除去に関しては循環による方式では理論除去率に近い70%程度の除去率で10 mg/Lの処理水質が得られた。内生脱窒を利用する方式では9割以上の除去率となり1.5 mg/Lまで除去されていた。ただし、嫌気好気法では好気槽での反応時間が短くなるため標準法よりも若干悪化していた。一方リン除去に関しては生物学的リン除去により8割以上の除去率で0.5 mg/Lの処理水質が得られた。窒素除去法では5割程度の除去率で1.5 mg/Lの処理水質であった。なお、SSとBODに関してはすべての処理方式で9割以上の除去率と良好な処理となっていた。

この時の使用電力量を下水処理量当たりの原単位と

ともに表3に示す。窒素除去法では硝化のための電力量が増加し、標準法(硝化なし)の原単位0.34に比べて1~2割増加していた。嫌気好気法では有機物がリン除去に利用されるため原単位が減少していた。

表3 各方式による使用電力量

	標準法	循環法	内生脱窒法	2段階硝化脱窒法	嫌気無酸素好気法	修正バーデンフォ法	嫌気好気法
合計(kWh)	16300	19500	18900	18900	18800	17800	15200
原単位(kWh/m ³)	0.34	0.41	0.39	0.39	0.39	0.37	0.32

4. おわりに

下水処理場の運転管理の高度化を目指した下水処理場機能評価システムを開発し、高度処理化や系列間負荷調整について検討した。

結果をまとめると以下ようになった。

- ① 標準法を循環法へ高度処理化することにより処理水質の向上のみならず、処理すべき汚泥発生量の減少にも繋がることが示された。
- ② 循環法に関しては窒素除去原単位という指標で処理水質と使用電力量の総合評価が可能となり循環率や系列間負荷調整の評価に適用できた。
- ③ 生物学的窒素・リン除去法の処理水質と使用電力量を一括比較するツールとして高度処理化による機能アップを評価できた。

<参考文献>

- 1) 宗宮功; 都市下水の各種高度処理プロセスにおける栄養塩類除去機能の評価
下水道協会誌、Vol42、No509、81-90、2005/03
- 2) (社)日本下水道協会; 下水道設計計画・設計指針と解説(2001年版)
- 3) 国土交通省都市・地域整備局下水道部; 高度処理共同負担制度に関するガイドラインと解説(案)、2007年5月