

## 〈論文〉

## 下水処理場運転計画支援システムの開発

福嶋 俊貴<sup>1)</sup>, 宗宮 功<sup>2)</sup><sup>1)</sup>メタウォーター(株) R&Dセンター R&D企画部  
(〒108-0023 東京都港区芝浦三丁目16番20号 芝浦前川ビル E-mail: fukushima-toshiki@metawater.co.jp)<sup>2)</sup>京都大学名誉教授・龍谷大学名誉教授

## 概要

昨年(2011年)夏の電力供給の逼迫により、下水処理場ではある程度の処理水質の悪化も許容した節電運転がなされた。そこで、処理水質と電力使用量を総合的に評価する下水処理場機能評価システムを活用して、従来の処理水質を維持する「通常モード」、平均値で処理水質の目標値を達成し節電を追求する「省エネモード」と処理水質の最大値でも目標水質を達成する「水質優先モード」を有する運転計画支援システムを開発しモデル処理場を対象として各モードの適用性を検討した。下水処理量 48,000 m<sup>3</sup>/日の循環式硝化脱窒法のモデル処理場を対象とし、流入水量・水質の変動パターンとして与えた流入負荷に対応する制御設定値の時間単位での設定により、各モードの効果を定量的に評価した。合せて複数系列の水処理での分配制御の効果についても検討した。

循環率を100%で24時間一定とした通常モードに対し、省エネモードで一部時間帯の循環率を40%とすることにより処理水 T-N は 1 mg/L 程度悪化するものの 1.1% の使用電力量の削減が期待された。水質優先モードでは循環率を 10~80% 増加させることによりすべての時間で水質目標 10 mg/L を達成できたが、使用電力量は 0.4% の増加となった。系列間調整として 1 系; 循環法, 2 系; 標準法の処理場で処理分配率を変化させたところ、1 系で 55% 処理するケースが窒素除去原単位 (= 使用電力量/窒素除去量) 22.59 kWh/kg で最も効率的と計算された。

キーワード: 下水処理場, 機能評価, 水質, 省エネ, 窒素除去原単位

原稿受付 2012.4.24 原稿受理 2012.6.20

EICA: 17(2・3) 11-18

## 1. はじめに

昨年(2011年)の東日本大震災以降の電力供給の逼迫により昨夏は関東を中心に下水処理場でも大幅な節電が求められた。今年(2012年)も原子力発電所の停止により、節電が求められると考えられる。

日本の電力消費の約 0.7% (2003 年度) を占める<sup>1)</sup>といわれる下水道分野では従来から中長期計画を立案して省エネの取り組みが図られてきた。中長期計画作成指針<sup>2)</sup>では散気装置の微細気泡化や省エネ機器への取替えといった計画的に実施する項目が設定されている。しかし、今夏の節電には緊急対策的な現状の設備の運転方法の変更による対応が求められる。昨夏の電力使用制限令では、上下水道施設は公共性が高いため 5% の削減に緩和されたため、消灯や空調温度の適切化で対応した例が多かったようである。ただし、東京都<sup>3)</sup>や横浜市<sup>4)</sup>では 15% 削減という高い目標で実施した例もあった。あくまで、電力使用量の時間ピークの削減(ピークカット)ではあるが、管渠貯留を活用した昼間ピーク時間帯での処理抑制(汚水ポンプと送風機の使用電力量低減に繋がる)により大幅なピークカットが達成された。

このような様々な取り組みは過去の経験や事前検討等に基づき綿密に計画されたと考えられるが、今後のエネルギー計画によってはピークカットのみでなく総電力使用量の 15% 削減が要請されることも想定される。従来からも地球温暖化対策マニュアル<sup>5)</sup>では省エネを中心とした温暖化対策は下水高度処理の実施や合流改善対策による公共用水域の水質保全といった下水道の本質的な役割のうえに成り立つと指摘されている。

このためには水質浄化や汚泥減量化といった処理機能と、使用電力量といったエネルギー消費を統合して評価する必要がある。しかしながら下水処理場全体を対象とした統合型シミュレータは存在しなかった。そこで、処理水質と電力使用量を総合的に評価する下水処理場機能評価システム<sup>6)</sup>を活用して、制御設定値を時間単位で設定する運転計画支援システムを開発した。いくつかの運転モードを設定し、モデル処理場を対象に省エネや水質向上を試算し、窒素除去原単位 (= 使用電力量/窒素除去量) で評価した。

## 2. 下水処理場機能評価システムのモデル

下水処理場機能評価システム (PES: Performance Eval-

uation System) で採用している水処理・汚泥処理のモデルを **Table 1** にまとめた<sup>7)</sup>。PESは処理場全体の物質の流れを把握することに重点をおき、水処理における微生物反応は一次反応式で表現し、溶解性BODと固形性BODで分解速度に違いを持たせている。窒素に関しては硝化率・脱窒率を一次反応で計算している。リンに関しては生物脱リンとして、MLSS中のリン含有率で設定している。汚泥処理における固液分離は固形物回収率で機器回収分を計算し、残りを脱離液流出分としている。(BOD・窒素・リンも同様に計算)嫌気性消化は投入汚泥中VSSのガス化率で設定し、遠心濃縮機と遠心脱水機の出口汚泥濃度はサンプルデータを使って回帰モデルを作成し、適用した。焼却炉に関しては投入汚泥中の可燃分が減少するものとし、燃料使用量は含水率を入力とし、燃料使用量を出力する回帰モデルを作成し、適用した。

また、主要な機器であるポンプ・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た。ブロワ電力量の計算は「下

水道設計計画・設計指針と解説 2009年版<sup>8)</sup>に準拠し、有機物酸化・硝化・内生呼吸・DO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。

PESによる処理水質の計算結果は各種高度処理方式のT-N・T-Pを再現できており、使用電力量も原単位ではほぼ妥当な結果であることを確認している<sup>7)</sup>。

PESのラインナップを **Fig. 1** に示すが、省エネ診断<sup>9)</sup>等に利用しているスタンドアロンPESを中心とし、流域下水道の管理のように複数の下水処理場の比較を可能とするネットワークPESと時間単位での計算を利用した計画化のためのオンラインPESから構成されている。今回はオンラインPESを利用した運転計画を立案した。水処理・汚泥処理の各プロセスは処理ユニットとして定義されており、処理水質と使用エネルギーから原単位やフットプリントといった指標で総合評価可能である。処理ユニットは全てのPESで共通に利用でき、容易に追加も可能である。

Table1 Model Equation of Water Treatment and Sludge Treatment

No.	設備	モデル化	計算式	数値
1	最初沈殿池	一次反応で表現	固形物除去率=1-exp(-k*t) t; 滞留時間(hr)	k=0.28(1/hr)
2	反応タンク			
	①BOD	一次反応で表現	溶解性BOD除去率=1-exp(-k*MLSS*t) t; 滞留時間(hr)	k=0.00035(1/hr・mg/L)
			固形性BOD除去率=1-exp(-k*MLSS*t) t; 滞留時間(hr)	k=0.00015(1/hr・mg/L)
	②SS	自己分解	SS分解率=1-exp(-k*t) t; 滞留時間(hr)	k=0.001(1/hr)
		MLSS計算	流入水+返送汚泥+増殖量(除去BOD*収率)-自己分解	
	③窒素	一次反応で表現	硝化率=exp(-k*MLSS*t) t; 滞留時間(hr)	k=0.001(1/hr・mg/L)
		一次反応で表現	脱窒率=exp(-k*MLSS*t) t; 滞留時間(hr)	k=0.002(1/hr・mg/L)
	④リン	リン含有率で表現	汚泥中リン=MLSS*含有率	含有率:5%(リン除去時)
3	最終沈殿池	一次反応で表現	固形物除去率=1-exp(-k*t) t; 滞留時間(hr)	k=2.75(1/hr)
4	重力濃縮槽	濃縮汚泥濃度		濃度:3%
5	遠心濃縮機	濃縮汚泥濃度	濃度(%)=α*余剰汚泥濃度+β*凝集剤注入率	α・βは定数(回帰式より設定)
6	遠心脱水機	脱水ケーキ含水率	含水率(%)=100-(α*濃縮汚泥濃度+β*凝集剤注入率)	α・βは定数(回帰式より設定)
7	嫌気性消化	ガス化率で表現	投入汚泥中のVSSの60%がガス化	ガス化率:60%
8	焼却炉	可燃分が減少	灰分=1-可燃分(VSS)	
		燃料使用量	使用量(L)=α*含水率-β	α・βは定数(回帰式より設定)

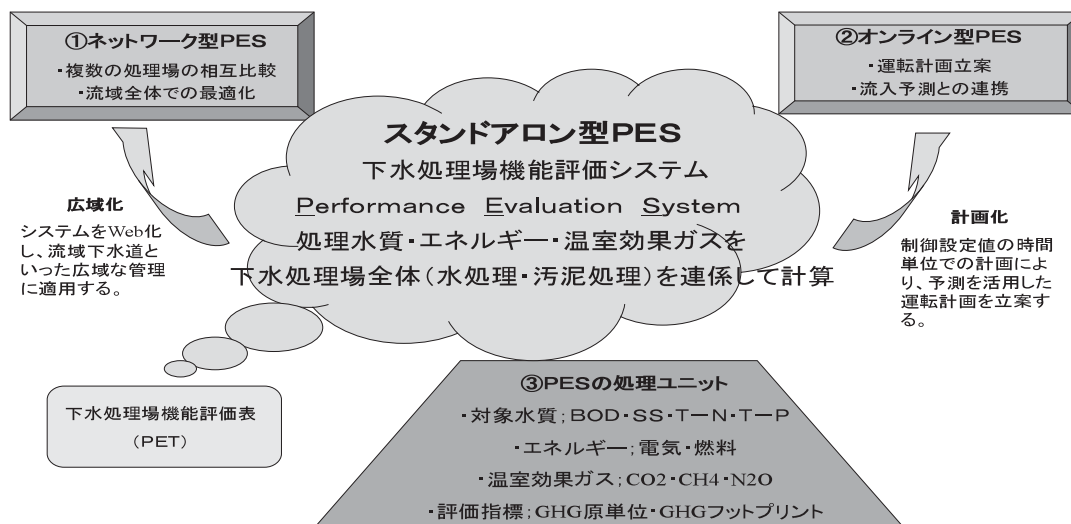


Fig.1 Lineup of PES

### 3. 運転計画作成支援システムによる検討

PES を活用した運転計画作成支援システムとして、以下の3つのモードを設定し、処理水質と使用電力量を評価した。

- ①「通常モード」；制御設定値を24時間一定とする。
- ②「省エネモード」；平均値で処理水質の目標値を達成し、使用電力量を低減する。
- ③「水質優先モード」；最大値でも処理水質の目標値を達成し、処理水質向上を優先する。

各モードのモデル計算にあたり、Table 2 に示すモデル処理場を対象とした。48,000 m<sup>3</sup>/日という中規模処理場で水処理方式は窒素除去を目的とする循環式硝化脱窒法（以下循環法と略記）とした。水温は平均的な20℃で一定とした。初沈汚泥は下水処理量の一定値（2%）を引き抜くものとし、余剰汚泥は返送率の初期値を20%とし、MLSSが平均値として1500 mg/Lで一定となるように引き抜くこととした。（初期条件で1%引き抜きであった。）

滞留時間は標準活性汚泥法（以下標準法と略記）を循環法に変更することを想定しているため、初沈・終沈は標準法と同等とし、反応タンクは標準法の8時間の滞留時間を無酸素槽2.75時間と好気槽5.25時間に分割することとした。流入水質は下水道統計<sup>10)</sup>のデータを利用して分布状態を調べ、中央値を採用した。なお、PESの計算に必要な溶解性BODの割合等のパラメータは標準値を用いた<sup>11)</sup>。

汚泥処理は分離濃縮（重力＋遠心）－脱水－焼却とし、返流水による影響も考慮した。

立案する運転計画の評価にあたり、Fig. 2 に示すような流入水量と Fig. 3 に示す流入水質の変動パターン

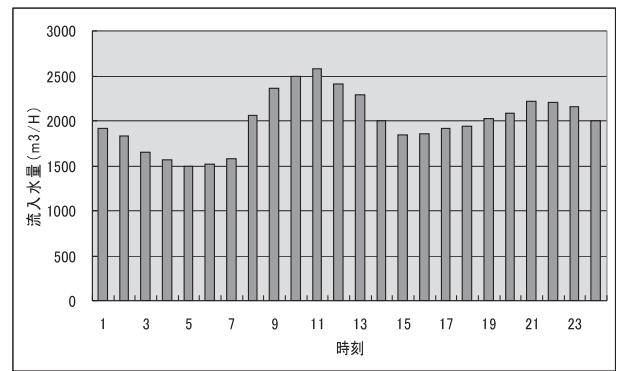


Fig. 2 Time change of the inflow quantity

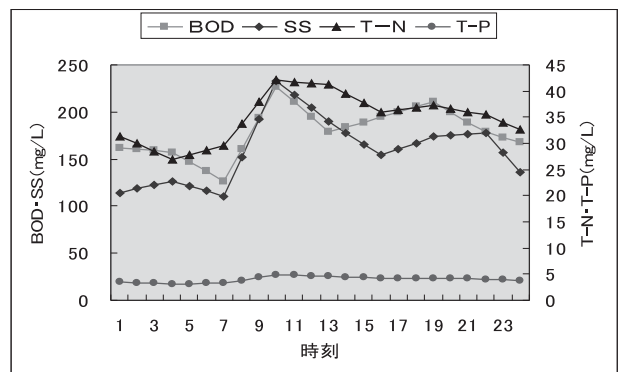


Fig. 3 Time change of the inflow quality

ンを想定した。流入水量は朝方と夕方にピークを持つ2山型とし平均値2000 m<sup>3</sup>/Hに対し、約±30%の変動を与えた。流入水質に関しては平均値がTable 2の数値となるように時間変動を与えた。

運転計画作成として循環法の目的である窒素の処理水質を評価項目とし、採択の多い10 mg/Lを目標値とした。

#### 3.1 通常モードの計算結果

通常モードとして循環率を100%（返送率も含めた総合循環率は120%）で一定としたケースにおける処理水質と使用電力量の時間変化を計算した。

処理水質の計算結果を Fig. 4 に示す。処理水 T-N

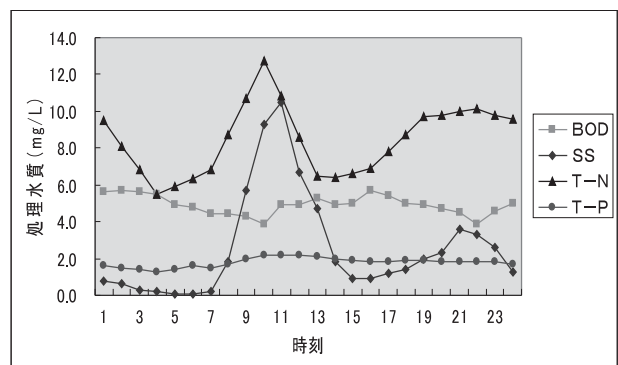


Fig. 4 Calculation result of effluent quality (Normal)

Table 2 The Condition of Model Plant

運転条件	下水処理量	48,000m <sup>3</sup> /日
	処理方式	循環式硝化脱窒法
	水温	20℃
	返送汚泥率	20%
	初沈汚泥	下水処理量の2%引抜
	余剰汚泥	MLSSを1500mg/L一定に引抜
滞留時間	初沈	1.5時間
	反応タンク	無酸素; 2.75時間
		好気; 5.25時間
終沈	3.0時間	
流入水質	BOD	180mg/L(溶解性; 35%)
	SS	160mg/L(VSS; 60%)
	窒素	35mg/L(NH <sub>4</sub> -N; 20mg/L)
	リン	4.0mg/L(PO <sub>4</sub> -P; 2.0mg/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(高温焼却)

は流入水量・水質の変動の影響を受け、5.5~12.7 mg/Lと大きく変動していたが、負荷量ベースの平均値（一日当りの処理水中のT-N総量から計算した平均値＝T-N総負荷量/下水処理量）は8.6 mg/Lと目標値の10 mg/Lを達成できていた。処理水SSは流入水量負荷の多い朝方には終沈の滞留時間が1.5時間程度まで短くなる影響とMLSSが2250 mg/Lまで上昇する影響で10 mg/L程度まで悪化していたが、平均値では2.6 mg/Lと良好な処理となっていた。処理水BODはMLSSが高い朝方に低くなり、SSとは逆の動きとなっていたが、平均値で4.9 mg/Lと良好な処理であった。処理水リンは平均値で1.8 mg/Lとほぼ時間変化がなかった。

使用電力量の計算結果を循環率と合せてFig. 5に示す。循環率も含めた制御設定値が24時間一定のため使用電力量は流入水量変動の影響をうけ、730 kWh~1340 kWhの幅があり、総使用電力量は23650 kWh/日となっていた。電力量原単位（＝使用電力量/下水処理量）は0.493 kWh/m<sup>3</sup>であった。

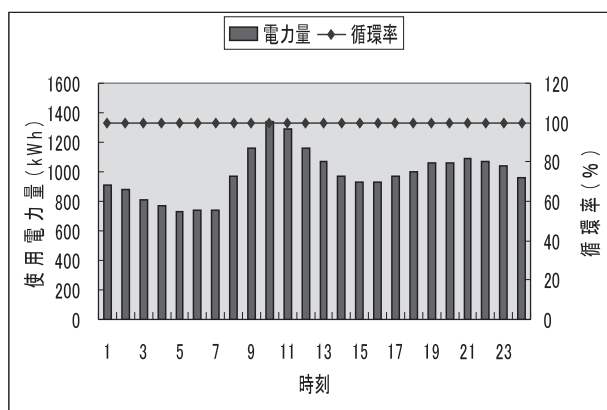


Fig. 5 Calculation result of electricity (Normal)

### 3.2 省エネモードの計算結果

省エネモードとして、目標値である処理水T-N 10 mg/Lを平均値で達成する運転計画を立案した。

処理水T-Nが10 mg/Lを下回っている明け方の2時から9時と電力消費のピーク時間帯である13時から18時の循環率を40%とした時（総合循環率で通常モードの半分の60%）の処理水質の時間変化をFig. 6に示す。

循環率を下げることにより処理水T-Nは7.0~11.2 mg/Lと2~3 mg/L程度悪化し、時間帯によっては10 mg/Lを超過することもあるが、負荷量ベースの平均値では9.5 mg/Lとなり、目標水質である10 mg/Lを達成していた。処理水SSは循環率を40%と低下させた時間帯でMLSSが100~200 mg/L程度増加するために若干悪化していたが、平均値では2.7 mg/Lと良好な処理であった。処理水BODは循環率を下げることにより好気槽の滞留時間が長くなり、平

均値で4.3 mg/Lと向上していた。処理水リンは違いがなかった。

使用電力量の計算結果を循環率と合せてFig. 7に示す。循環率を40%に低下させた時間帯で1時間あたり20~30 kWh削減でき、1日あたりでは23390 kWh/日と通常モードの23650 kWh/日に対し1.1%の削減となっていた。電力量原単位は0.487 kWh/m<sup>3</sup>であった。

時間単位で制御設定値を計画することで、より詳細な電力需要を管理することが可能となる。

さらなる運転計画として、使用電力量のピークをシフトするために処理量を平滑化する「流入量変動抑制」を検討した。早朝の時間帯により多くの下水を処理し、朝方の流入量ピークであった時間帯の処理量を2100 m<sup>3</sup>/Hで一定となるように計画した。その結果、流量変動は当初の±30%に対し、約±10%と大幅に平滑化となった。流量変動を抑制するために下水管渠等でバッファリングすることにより、流入水質も均一化すると考えられるが、ここでは変化しないものとして計算した。

このときの処理量と使用電力量の時間変化をFig. 8に示す。使用電力量の時間ピークは10時の1170 kWhと基準の1340 kWhに対し、約10%の低減となっていた。総使用電力量も23550 kWh/日と0.4%の削減となっていた。なお、処理水T-Nは循環率が100%で一定のために流入水質変化の影響を受け、朝

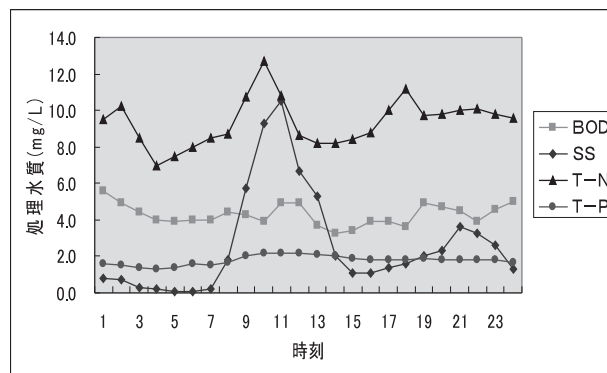


Fig. 6 Calculation result of effluent quality (Saving)

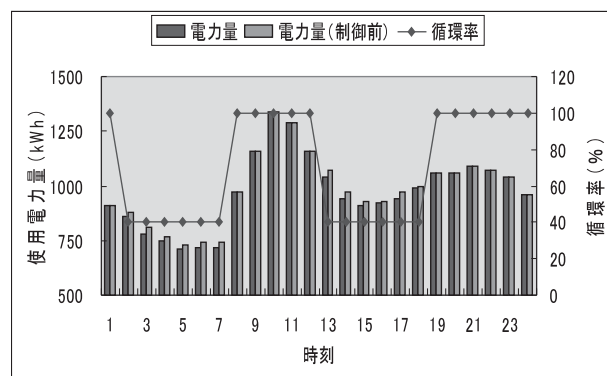


Fig. 7 Calculation result of electricity (Saving)

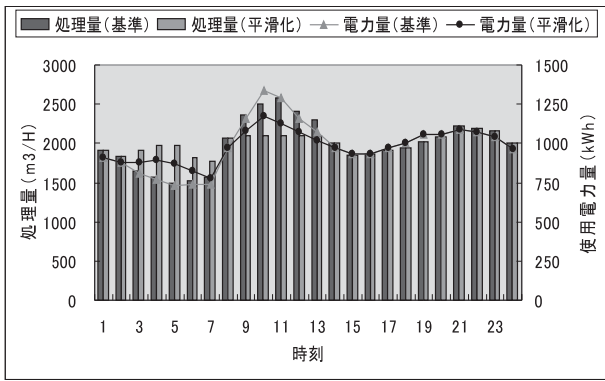


Fig.8 Treatment quantity and electricity consumption

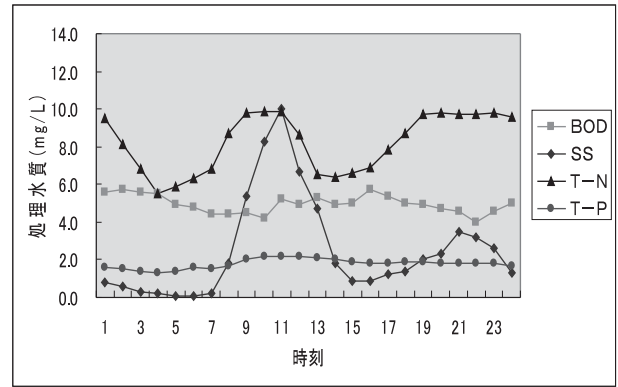


Fig.10 Calculation result of effluent quality (Quality)

方にピークがあるものの負荷量ベースの平均値で8.4 mg/Lと若干向上していた。

「省エネモード」に「流入量変動抑制」を組合せ、同時に実施した場合の使用電力量と処理水 T-N の時間変化を Fig. 9 に示す。処理水 T-N は循環率を 40% に低下させた時間帯で大幅に悪化し、負荷量ベースの平均値では 9.5 mg/L まで悪化するものの、使用電力量は 23330 kWh/日と通常モードの 23650 kWh/日に対し、1.4% の削減が期待できた。

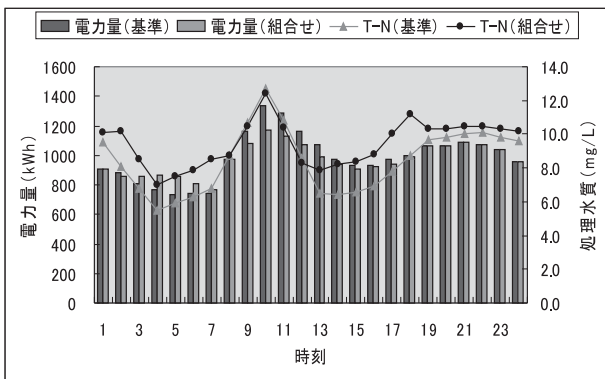


Fig.9 Electricity consumption and T-N

### 3.3 水質優先モードの計算結果

水質優先モードとして、目標値である処理水 T-N 10 mg/L を最大値でも達成する運転計画を立案した。

処理水 T-N が 10 mg/L を上回っている朝方の 9 時から 11 時と、夜間の 21 時・22 時の循環率を変更して処理水 T-N を 10 mg/L 以下とした時の処理水質の時間変化を Fig. 10 に示す。循環率を朝方は 130% と 180%，夜間は 110% と変更することにより、すべての時間帯で T-N 10 mg/L 以下が達成されていた。負荷量ベースの平均値は 8.4 mg/L まで向上していた。処理水 SS は循環率を増加させた時間帯で MLSS が 100~200 mg/L 低下するために平均値で 2.5 mg/L とわずかに向上していた。処理水 BOD は逆に好気槽での滞留時間の短縮により平均値で 5.0 mg/L とわずかに悪化していた。処理水リンは違いがなかった。

使用電力量の計算結果を循環率と合せて Fig. 11 に示す。循環率を増加させた時間帯で 1 時間あたり 20~30 kWh 増加し、1 日あたりでは 23740 kWh/日と通常モードの 23650 kWh/日に対し 0.4% の増加となっていた。電力量原単位は 0.495 kWh/m³であった。

時間単位で制御設定値を計画することで、より詳細な放流水質を管理することが可能となる。ただし、電力供給が逼迫している状況では使用電力量ピークの増大にも繋がる可能性があるので留意が必要である。

「水質優先モード」に「流入量変動抑制」を組合せ、同時に実施した場合の使用電力量と処理水 T-N の時間変化を Fig. 12 に示す。処理水 T-N は循環率を増加させた時間帯で向上し、負荷量ベースの平均値では 8.2 mg/L まで向上するうえに、使用電力量は 23560 kWh/日と通常モードの 23650 kWh/日に対し、0.4% の削減が期待できた。

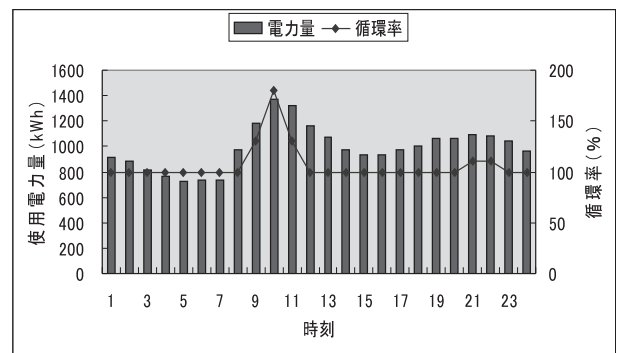


Fig.11 Calculation result of electricity (Quality)

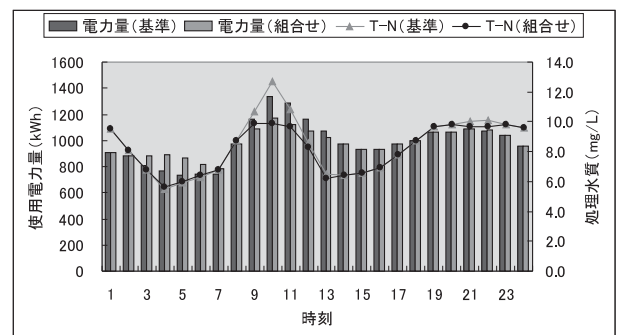


Fig.12 Electricity consumption and T-N

### 3.4 各モードの比較

「通常モード」・「省エネモード」・「水質優先モード」の各モードの処理状況を流入変動のある場合と変動を抑制した場合に分けて、使用電力量や処理水 T-N をまとめて **Table 3** に、使用電力量と窒素除去量に着目して **Fig. 13** に示す。「省エネモード」とすることにより使用電力量は減少するが、窒素除去量は低下する。一方、「水質優先モード」では処理水質は向上するものの、使用電力量は増加する。なお、変動抑制は双方に貢献する。総合評価指標である窒素除去原単位では、変動抑制における「水質優先モード」が 18.35 kWh/kg で最も効率的と判断された。

Table3 Comparison of three modes

項目	単位	流入変動			変動抑制		
		通常	省エネ	水質優先	通常	省エネ	水質優先
使用電力量	kWh	23650	23390	23740	23550	23330	23560
電力原単位	kWh/m <sup>3</sup>	0.493	0.487	0.495	0.491	0.486	0.491
処理水T-N	mg/L	8.6	9.5	8.4	8.4	9.5	8.2
窒素除去量	kg	1265	1225	1278	1275	1225	1284
窒素除去原単位	kWh/kg	18.69	19.09	18.57	18.48	19.04	18.35

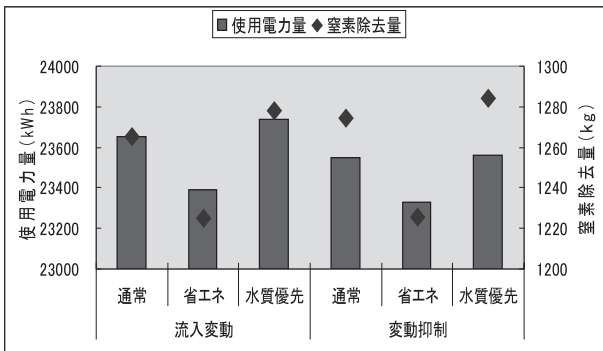


Fig.13 Electricity consumption and T-N Load

### 3.5 系列間調整の検討

最近の下水処理場では処理量の増大に伴い系列増設され、処理方式の異なる処理系列を持つ例が多い。そこで、1系：循環法 (24000 m<sup>3</sup>/日)、2系：標準法 (24000 m<sup>3</sup>/日) である処理場を対象に、1系・2系の処理量のバランスを調整することによる使用電力量と処理水質への影響を検討した。

1系での処理量を基本の50%から70%まで5%刻みで増加させた5ケースについて比較検討した。(ケース1から5と呼ぶこととする)

処理状況について1系・2系に均等に流入させたケース1の各系の処理水質を **Fig. 14** に、その時の放流水質と使用電力量を **Fig. 15** に示す。流入負荷の時間変動の影響を受け、処理水 T-N は変動するが、高度処理法の循環法である1系の処理水 T-N は負荷平

均で 10.1 mg/L と良好であり、標準法である2系は負荷平均で 17.0 mg/L に留まる。両系列の合算としての放流水質は 8.6~20.0 mg/L まで変動し、負荷平均は 13.5 mg/L であった。使用電力量は日合計で 23430 kWh/日 (原単位：0.488 kWh/m<sup>3</sup>) と循環法単独よりも少なくなっていた。また、流入負荷の高い (流量・濃度ともに) 朝方にピークがあり、最大値は10時の1310 kWhとなっていた。

ケース1から5の使用電力量と処理水 T-N をまとめて **Fig. 16** に示す。循環法である1系での処理量を増加させると55%までは処理水質が向上する (ケー

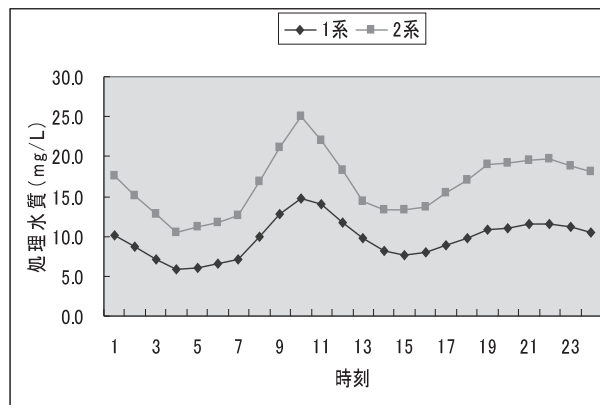


Fig.14 Calculation result of effluent T-N

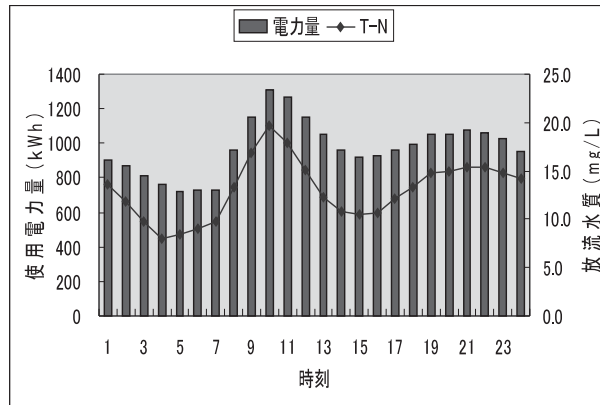


Fig.15 Electricity consumption and T-N

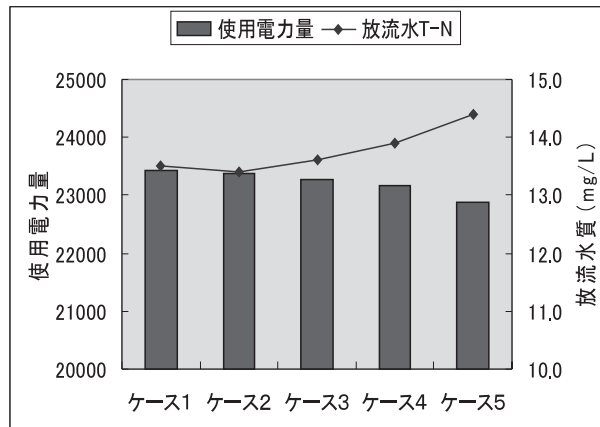


Fig.16 Electricity consumption and T-N (case1 to 5)

ス2では13.4 mg/Lと0.1 mg/L向上)ものの、それ以上ではむしろ悪化する傾向にあった。一方、使用電力量は1系での処理量を増加させるに伴い減少する傾向にあった。

処理水質の変化について1系・2系の窒素除去量について整理し Fig. 17 に示す。1系での処理量が増加するのに従い、1系での窒素除去量は増大する(当然2系の除去量は減少する。)ものの、循環率は100%で一定ではあるにも係らず頭打ち傾向にあった。これは、1系での処理量を増加させたために最終沈殿池での沈殿時間が十分に確保できず、有機性窒素の流出による悪化と考えられた。例えば、ケース5では放流水 T-N 14.4 mg/Lのうち硝酸性窒素は10.8 mg/Lであり、有機性窒素が3.6 mg/Lと25%を占めていた。(処理量の多い1系処理水ではT-N 13.5 mg/Lのうち有機性窒素は4.8 mg/Lと36%を占めていた。)一方、ケース1では放流水 T-N 13.5 mg/Lのうち硝酸性窒素は12.7 mg/Lであり、有機性窒素は0.8 mg/Lと6%に過ぎなかった。

使用電力量の変化のある設備に限定して内訳を Fig. 18 に示す。循環法である1系の処理量を増加させるに従い、循環率を100%で一定としているために循環ポンプ電力量が増え、水処理設備の電力量は増加していた。しかしながら循環量の増加により脱窒量が

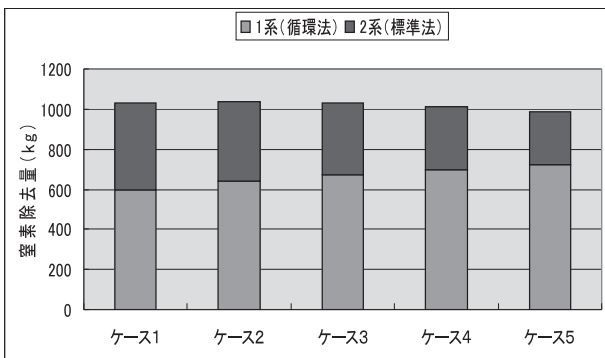


Fig. 17 Breakdown of T-N removal load

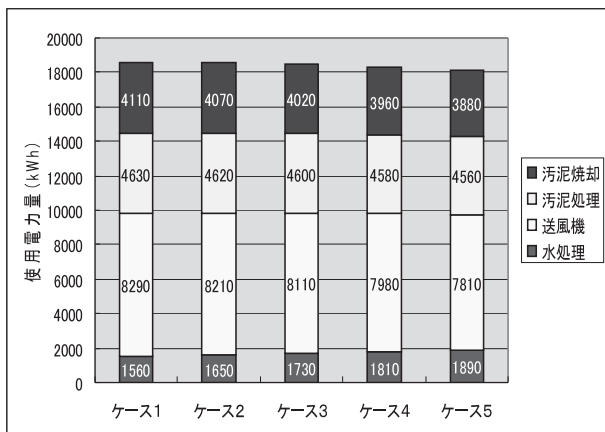


Fig. 18 Breakdown of electricity consumption

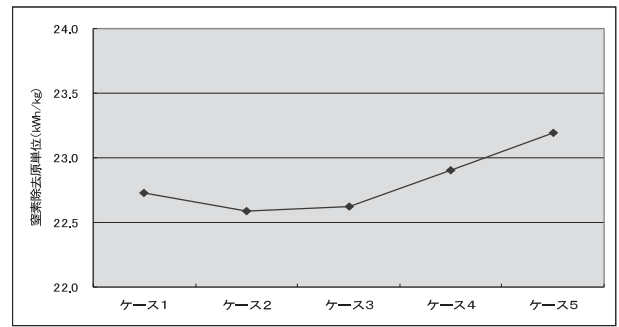


Fig. 19 Change of nitrogen removal marginal value

増加し、脱窒の炭素源として有機物(BOD)が無酸素槽で消費され、結果的に好気槽での有機物酸化に要する空気量が減少し、送風機設備の電力量は減少する傾向にあった。同様に、余剰汚泥発生量も減少し、汚泥処理設備・汚泥焼却設備での使用電力量も減少していた。これらの結果として処理場全体での使用電力量は1系での処理量を増加させるに従い、減少していた。

ケース1から5の窒素除去原単位を計算すると Fig. 19 のようになった。循環法である1系での処理量を増加させるに従い、処理水質の向上と使用電力量の減少により一旦は処理効率が向上し、窒素除去原単位は減少するものとした。しかしその後は処理水質の悪化(窒素除去量の減少)により増加する傾向にあった。結果として1系で55%処理するケースが22.59 kWh/kgで最も効率的と計算された。

#### 4. おわりに

下水処理場を総合的に評価する下水処理場機能評価システム(PES)を利用した運転計画支援システムを開発し、「通常モード」と「省エネモード」、「水質優先モード」について処理水質と使用電力量を窒素除去原単位という指標で評価した。処理量48,000 m<sup>3</sup>/日のモデル処理場を対象とした計算結果をまとめると以下のようなになった。

- ①省エネモードとして流入負荷の低い時間帯で循環率を40%とした時(総合循環率で通常モードの半分の60%)処理水T-Nは9.5 mg/Lまで悪化するものの、1時間あたり20~30 kWh削減でき、1日あたりでは1.1%の削減となった。
- ②水質優先モードとして流入負荷の高い時間帯で循環率を10~80%増加させることにより、すべての時間帯で目標値の10 mg/Lを達成できたが、使用電力量は0.4%の増加となった。
- ③流入量変動を当初の±30%から約±10%と大幅に抑制することによりピーク電力量は約10%低減でき、省エネモードとの同時実施では使用電力量1.4%の削減も期待できた。

- ④流入量変動の抑制は水質優先モードでも有効であり、窒素除去原単位で評価すると、水質優先モードと変動抑制の組合せが 18.35 kWh/kg で最も効率的と判断された。
- ⑤系列間調整として処理分配率を変化させたところ、窒素除去原単位は循環法である 1 系での処理量を増加させるに従い、処理水質の向上と使用電力量の減少により一旦は処理効率が向上し、窒素除去原単位は減少した。その後は処理水質の悪化により増加する傾向にあり、1 系で 55% 処理するケースが 22.59 kWh/kg で最も効率的と計算された。

今後は評価指標として維持管理費といった観点からも検討を加え、実処理場での適用も検討したいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：資源のみちの実現に向けて報告書（案）（平成 19 年 3 月）
- 2) 国土交通省：第一種指定事業者のうち下水道業を営む者による中長期的な計画の作成のための指針解説（平成 17 年 6 月）
- 3) 寺島：電力危機突破のための東京都の緊急対策，下水道協会誌，Vol. 48, No. 590, p. 11-14（2011）
- 4) 鈴木：電気の使用制限期間中における水再生センター等の取り組みについて，下水道協会誌，Vol. 48, No. 590, p. 18-20（2011）
- 5) 国土交通省：下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き（平成 21 年 3 月）
- 6) 福嶋・宗宮：下水処理場機能評価システムによる運転管理の高度化に関する研究，EICA 学会誌 13 巻 2/3 号 pp. 85-92（2008）
- 7) 福嶋・宗宮：下水処理場の環境効率に及ぼす流入水量・水質の影響に関する研究，環境工学研究論文集 第 47 巻 pp. 315-319（2010）
- 8) 社日本下水道協会：下水道設計計画・設計指針と解説 2009 年版
- 9) Fukushima: Diagnosis of Energy Saving at Sewage Treatment Plants in China, 10<sup>th</sup> Japan-China Symposium on Water Environment, 47-55（2012）
- 10) 日本下水道協会：平成 18 年度下水道統計（2006）
- 11) 宗宮：下水処理システムの機能評価表に関する研究，下水道協会誌，Vol. 41, No. 502, p. 131-141（2004）

## The Development of Support System for Operation Plan in Sewage Treatment Plant

Toshiki Fukushima<sup>1)†</sup> and Isao Somiya<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Metawater Co., Ltd

<sup>2)</sup> Emeritus Professor of Kyoto University.

† Correspondence should be addressed to Toshiki Fukushima :  
(Metawater Co., Ltd E-mail : fukushima-toshiki@metawater.co.jp)

### Abstract

We developed a performance evaluation system for sewage treatment plant which we evaluated the water quality of effluent and energy consumption for the whole sewage treatment plant generally. In last summer, the sewage treatment plant was operated with some aggravation permitted due to the stringency of the power supply. So, We developed the support system for operation plan which consists of electricity saving mode which pursues reduction of power consumption while deteriorating the effluent quality within the target water quality and normal mode which maintains the conventional effluent quality and water quality mode which achieves the water quality target always.. We evaluated the effect of three modes quantitatively by at the time of the control set point corresponding to the inflow load that we gave as a change of the inflow pattern at model sewage treatment plant.

**Key words :** Sewage treatment plant, Performance evaluation, Water quality, Electricity saving, Nitrogen removal marginal value