

## 効率的な硝化脱窒運転のための TOCN 計・ORP 計の利用について

藤岡祐子\*、菊地博泰\*、鎌谷晋治\*  
岡井義昭\*\*

\* (財)兵庫県下水道公社 加古川上流管理事務所  
小野市黍田町字沖中曽根 398-2

\*\* 兵庫県下水道課  
神戸市中央区下山手通 5-10-1

### 概要

加古川上流浄化センターは、放流先加古川の水道水源の水質保全のため、ステップ流入式多段硝化脱窒法により窒素除去運転を行っているが、ブロワーの消費電力を極力抑え更に安定的に処理水の全窒素濃度を維持するための運転方法について検討した。検討のポイントは ORP 計による硝化脱窒の管理と流入側オンライン TOCN 計による送風量の予測である。検討の結果流入側 TOCN 計による必要送風量の予測と硝化脱窒各槽に設置した ORP 値を指標に送風量を設定する事により、効率的な送風が行えること、TOCN 計により負荷変動を把握し、ある程度均等負荷流入(負荷量一定)を行うことにより処理水の全窒素濃度を安定的に維持できることが示唆された。又同時に送風量の安定化(一定制御)が計られれば、風量制御におけるサージ現象の排除及びブロワーの台数制御における無駄を排除し、電力コストの削減に結びつけられるのではないかとと思われるので紹介する。

### キーワード

ステップ流入式多段硝化脱窒法、オンライン TOCN 計、ORP 計

## 1. はじめに

加古川上流浄化センターでは、放流先である加古川下流域の水道水源の水質保全のため、通常の有機物除去に加え、平成9年度より窒素除去運転を開始した。水処理系列としては 1/18 系～5/18 系の5系列が稼働しているが、1/18 系を除く水処理施設は標準活性汚泥法対応(ステップエアレーション可能)の施設であるため、処理方式として標準法施設を利用して窒素除去運転が可能なステップ流入式多段硝化脱窒法(3段式)により運転を行っている。

放流水の全窒素の目標値は 10mg/l である。窒素除去に伴うブロワーの消費電力の増大を抑え、安定的に放流水全窒素濃度を管理するための運転指標として、(1)硝化脱窒各反応に必要な ORP 値の検討(2)反応槽流入側全炭素濃度、全窒素濃度の把握による必要送風量(TOCN 計利用)の予測及び流入負荷変動の調整による安定化について検討した。

## 2. 運転条件及び検討事項

図-1に水処理運転フローを、表-1に運転条件を示した。水質計器として、オンライン TOCN 計、ORP 計を使用した。各計器のデータは、データロガーにて定期的に収集を行い解析し、日常運転におけるパターンを検討し、シミュレーション的に送風量の予測を行った。

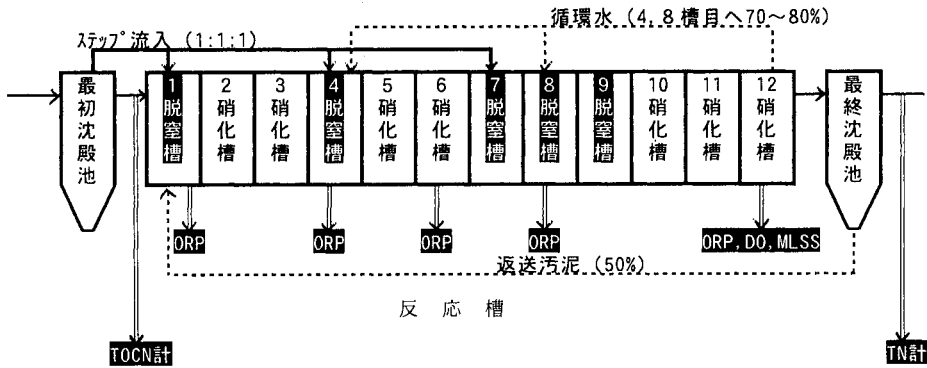


図-1 ステップ流入式多段(3段)硝化脱窒法運転フロー

表-1に示すとおり、検討は1/18系を使用して行った。反応槽の容量は5,887 m<sup>3</sup>で隔壁にて12区画に仕切られている。槽配分はフロー図に示したとおりである。4,7,10槽目よりステップ流入可能な構造になっている。流入は1,4,7槽目より流量比1:1:1で行った。反応槽の平均MLSS濃度は約3,000mg/l、返送比50%、循環比70~80%で行った。送風量の調整は、最終槽DOの目標値として1.5mg/lとなるように、最終槽DO値と流入水量を監視しながら経験的に手動で行っている。

本運転条件により(1)本法においてける硝化脱窒に必要なORP値の把握(2)TOCN計による反応槽入口水質(TOC,TN)の連続測定と必要送風量の算出(3)処理水全窒素濃度の安定化について検討した。

表-1 運転条件

項目(単位)	条件
検討系列	1/18系列
流入水量(m <sup>3</sup> /日/系列)	11,000~13,000
ステップ比(1,4,7槽)	1:1:1の等量配分
反応槽容量(m <sup>3</sup> )	5,887m <sup>3</sup> (12区画に分割)
散気装置	散気筒式
反応時間	脱窒槽(h) 4~5
	硝化槽(h) 6~7
平均MLSS(mg/l)	3000
汚泥返送比(%)	50
循環比(%)	70~80
反応槽12槽DO値(mg/l)	平均 1.5
<b>計装設置箇所</b>	
TOCN計	反応槽入口
TN計	最終沈殿池出口
ORP計	反応槽(1,4,6,8,12槽)
DO計	反応槽(12槽)
MLSS計	反応槽(12槽)

### 3. 運転結果及び考察

#### (1) 硝化脱窒各反応に必要なORP値の算出

図-2に、硝化槽(12槽目)のORP値、DO値の経日変動とアンモニア性窒素(0.1mg/l以上のみ記載)の状況を示した。ORP値は、期間中定常的には150mV~200mVの範囲で推移した。(10/27付近でORP値が低下しているが、送風機の故障により送風量が確保出来なかったことによる。)150mV以下ではアンモニア性窒素が0.1mg/l以上検出される傾向にあった。ORP値より、本運転条件においては、アンモニア性窒素の完全硝化(0.1mg/lを基準とする。)のための硝化槽(12槽目)ORP値として160mV以上のレベルを確保するように送風する必要があると思われる。又、それ以上の電位を示す場合は、送風量として過剰気味であると推察されるので、電力的にも又脱窒槽の嫌気度を確保するためにも、効率的な送風量の指標としてORP値160mV程度を目標に送風するのが適切ではないかと考えられる。又同期間中のDO値はORP値と割合追従していた。ORPレベルを見ながら目標DO値を設定していくのが効率的であると示唆される。グラフより期間中の送風量として9,10月についてはそれほど過剰曝気の傾向もなくほぼ適正に送風されているが、11月後半は若干過剰であると思われる。

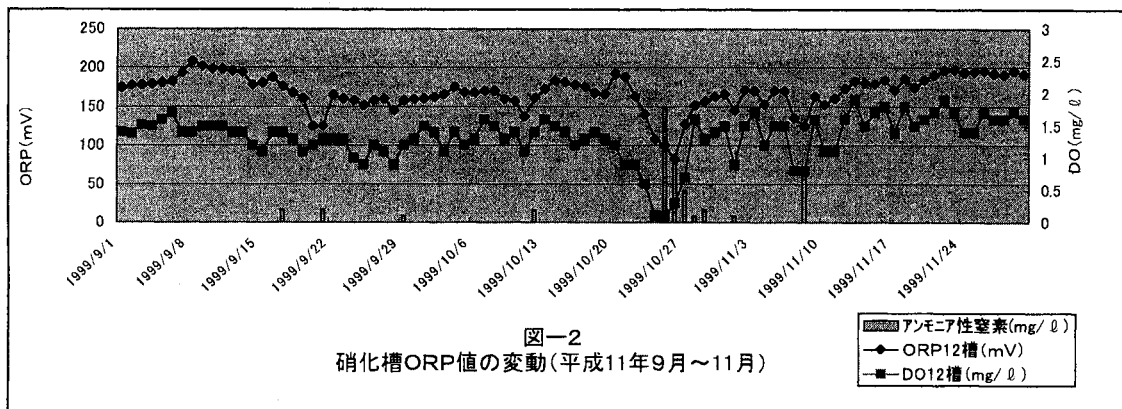


図-3に DO、ORP、送風量の日内時間変動の結果を示した。ORP 値は DO 値、送風量の変動に伴って変動しているが、電位の変動幅は DO 値ほど顕著ではない。特に 12 槽目においては、硝酸化反応終了後の電位の上昇は緩慢で、180 mV以上の電位を示している時(図3(2))の ORP 値の変動はわずかである。6 槽目の方が変動幅は大きい傾向にある。6 槽目は平均 130 mV 付近を推移していた。負荷変動を把握するためには、6 槽目の ORP 値を監視していくのが適切ではないかと思われる。図3(1)の 15:00~20:00 にかけてのおちこみは、必要送風量を確保出来なかったことによる。

ステップ流入式多段硝化脱窒法の場合、通常の循環式硝化脱窒法に比較して、流入汚水をステップ流入させるため、①負荷変動の影響をある程度緩和出来ること②送風量の調整についても早い対応が可能であり、送風量と ORP 値は遅延なく対応している。

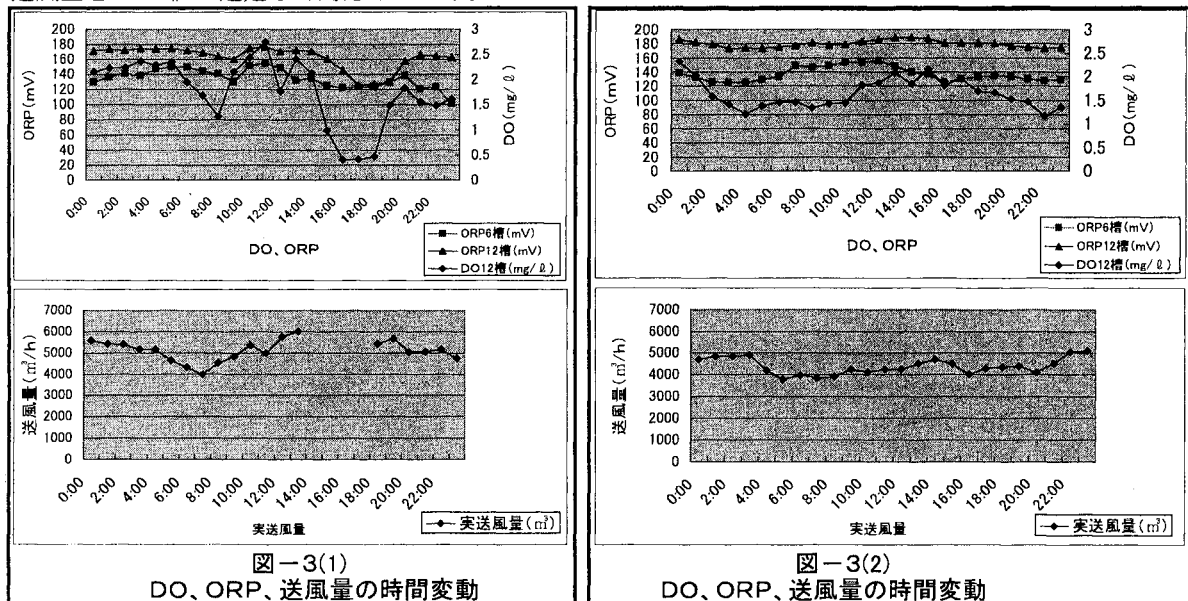
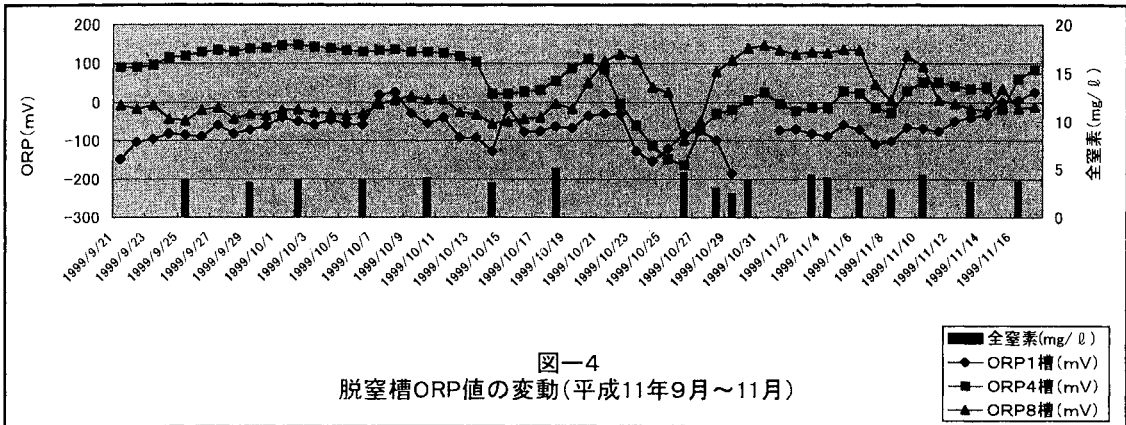


図-4に脱窒槽(1,4,8槽目)のORP値を示した。1槽目のORP値は、平均-100 mVで、-150 mV~+30 mVの間を推移していた。4,8槽目は、循環水を循環しているが、9,10月は4槽目:8槽目=75:25で又11月は25:75で循環している。(循環比は流入水量の75%)各槽について100 mV以上の電位の部分ではやや脱窒が遅延する傾向にあったが、脱窒反応は各槽とも割合広いORP範囲で起こっており、ORP値で100 mV以下では充分進行していた。脱窒のための嫌気度についてはそれほど低いORP値を確保しなくとも進行すると思われる。通常運転においては、脱窒だけを考慮する場合は100 mV以下を指標に管理すればよいことが示唆された。現状では脱窒槽の攪拌は、散気筒ライザー管に設置した間欠曝気弁で5分/2時間毎の間欠曝気により行っている。



図一四  
脱窒槽ORP値の変動(平成11年9月～11月)

(2) TOCN 計による必要送風量の予測

高度処理においては特に送風量を決定する際、従来の手動又は自動の DO 制御 (生物反応終了後の余剰 DO 値による制御) より、流入負荷から算出した必要送風量で送風する方が、より効率的な送風が行えると考え、オンライン TOCN 計より連続測定したデータ (TOC 及び TN) を用いて、必要送風量の算出式にあてはめ、予測データと現状運転 (手動送風量調節による DO 調整) を比較検討した。

反応槽の必要送風量は、下式に示したとおりである。式中反応槽流入 BOD は TOCN 計の計測値と手分析 BOD 値の相関式より、又全窒素濃度については、TOCN 計の計測値を直接入力し算出した。

<必要送風量算出式>

$$DB = \{ (C_{bodin} - C_{bodeff}) \cdot Q_{in} \times 1/1000 - (L_{noxdn} - L_{noxa}) \times 2 \} \times 0.45 \dots (1)$$

$$DN = \alpha \cdot C_{tnin} \cdot Q_{in} \times 1/1000 \times 4.57 \dots (2)$$

$$DE = X_a \cdot V_a \times 0.12 \dots (3)$$

$$DO = C_{oa} \cdot (Q_{in} + Q_r + Q_c) \times 1/1000 \dots (4)$$

$$\sum D = DB + DN + DE + DO \dots (5)$$

$$Q = \{ \sum D / (EA \times 0.01 \times \rho \times OW) \times 60 \times 24 \} \times (273 + 293) / 273 \dots (6)$$

(1)DB: BOD酸化による酸素消費量(kg/日) C <sub>bodin</sub> : 反応タンク流入BOD(mg/ℓ) C <sub>bodeff</sub> : 反応タンク流出BOD(mg/ℓ) L <sub>noxdn</sub> : 硝化槽Not-N負荷量(kg/日) L <sub>noxa</sub> : 硝化槽Not-N流出量(kg/日) Q <sub>in</sub> : 流入水量(m <sup>3</sup> /日)	(4)DO: 溶存酸素保持に必要な酸素量(kg/日) C <sub>oa</sub> : 硝化最終槽溶存酸素濃度(mg/ℓ) Q <sub>in</sub> : 流入水量(m <sup>3</sup> /日) Q <sub>r</sub> : 返送汚泥量(m <sup>3</sup> /日) Q <sub>c</sub> : 循環水量(m <sup>3</sup> /日)
(2)DN: 硝化による酸素消費量(kg/日) α: 硝化に係わる窒素の比 C <sub>tnin</sub> : 流入T-N濃度(mg/ℓ) Q <sub>in</sub> : 流入水量(m <sup>3</sup> /日)	(5)∑D: 全酸素必要量(kg)
(3)DE: 内生呼吸による酸素消費量(kg/日) X <sub>a</sub> : MLSS濃度(g/ℓ) V <sub>a</sub> : 硝化槽容量	(6)Q: 所要空気量(m <sup>3</sup> /分) E <sub>a</sub> : 散気装置の酸素移動効率(%) ρ: 空気密度 1.293kg空気/Nm <sup>3</sup> OW: 空気中の酸素重量比 0.233kgO <sub>2</sub> /kg空気

図-5 (1) に自動計測による TOC 値と、手分析による BOD 値の相関性について示した。TOC と BOD の相関式は、 $y = 0.4686 x + 10.596$  で、相関係数は  $r^2 = 0.8446$  であった。この式より BOD を算出した。又、図-5 (2) に自動計測と手分析の TN 値の相関性を示した。TN については相関式  $y = 0.9754 x + 0.691$  で相関係数  $r^2 = 0.9919$  であった。

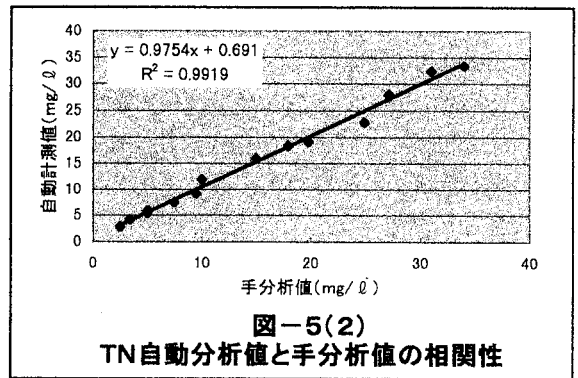
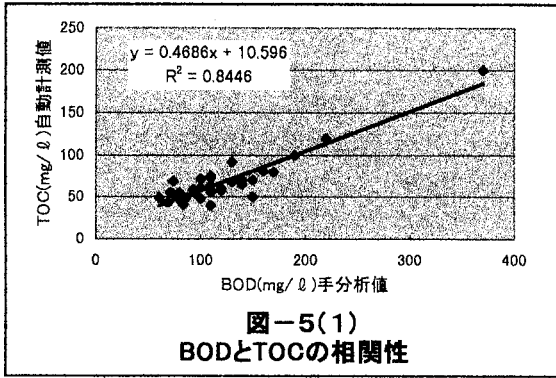


図6に全窒素、全炭素濃度の日間変動を示した。グラフに示すとおり、全窒素濃度はかなり一定のパターンで推移している。全炭素についても、いくらかのバラツキがあるものの1日の変動パターンが見られた。全炭素については、試料のサンプリング部分でのSS（浮遊物質）等の取り込みの影響によりバラツキが生じる可能性が大きいと思われる。又採取試料が流入水であるため、サンプリング不良等による欠測データも多いため、今後サンプリング部分の改良が必要である。

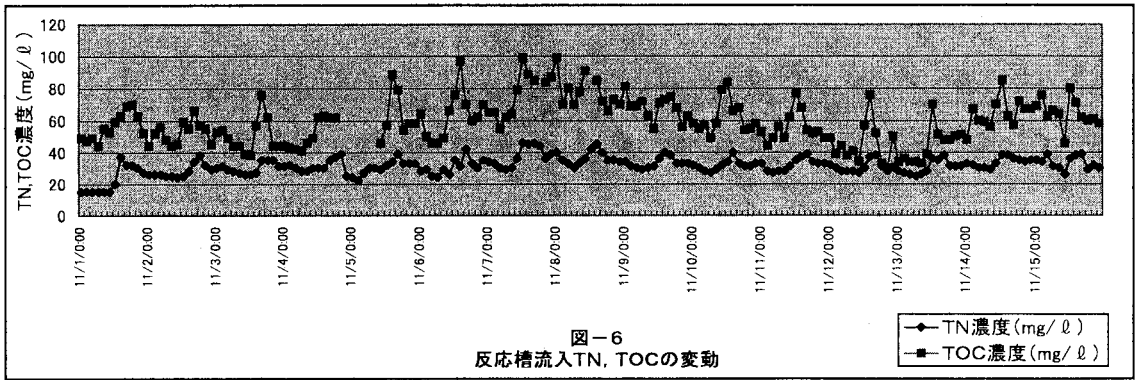
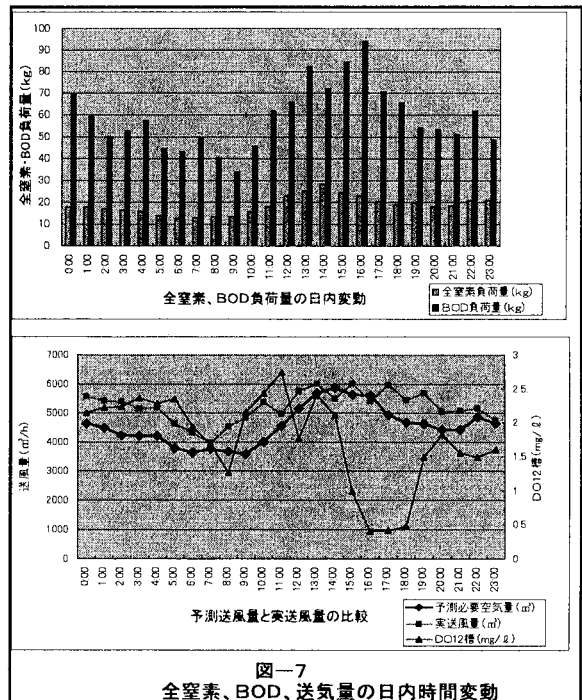


図7の上段に、流入水量を加味した全窒素、BOD負荷量の日内変動を示した。通常運転時は、ポンプ井水位調整により水量均等流入で運転を行っているが負荷量に換算するとグラフに示したような、午後から夕方及び深夜の2つのピークを含む変動パターンを示す。

図7下段に必要送風量算出式より予測した。予測送風量と実送風量の日内変動を示した。グラフに示したとおり両者は非常に近似したパターンとなり予測送風量が実状とよく当てはまっていること、現状の手動DO調整が、割合効率的に送風出来ていることが示唆された。

実状では、反応槽12槽目のDO値と流入水量と過去のパターンを考慮しながら中央監視者が経験的に目標DO値(1.5mg/l)になるように送風量を手動で調整しているため連続的な監視が必要であるが、本予測式によりある程度送風量の予測が



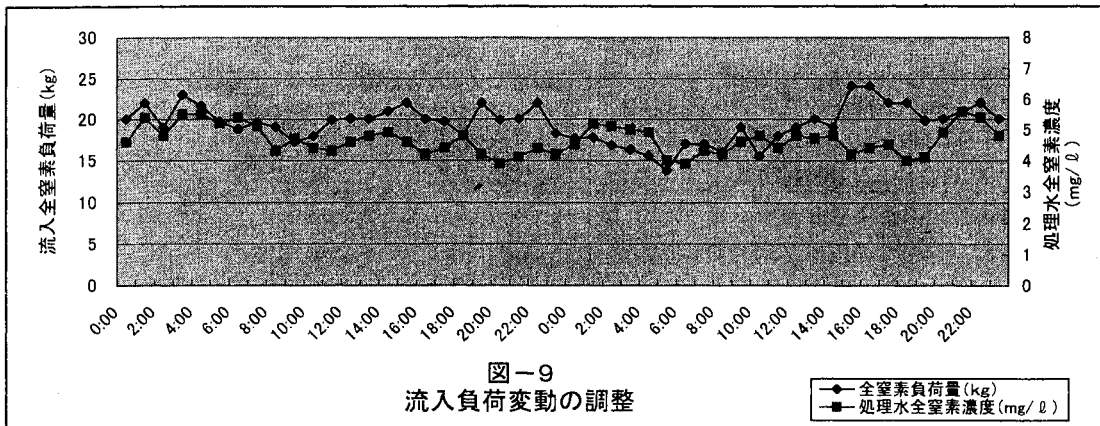
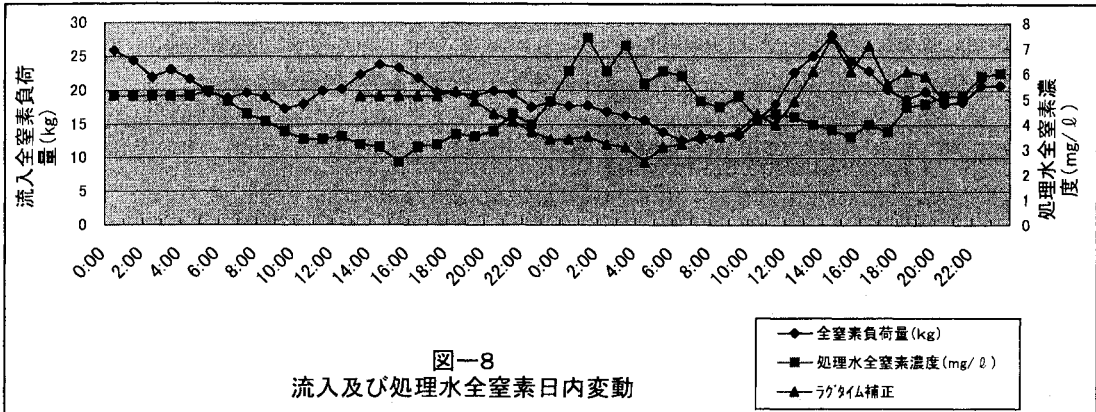
可能である事が推察された。

### (3) 全窒素負荷変動への対応

本運転方法において、完全硝化脱窒を仮定した場合、最大窒素理論除去率は、ステップ段数と返送比、循環比によって決まる(下式)ため、流入側の窒素濃度の変動は、そのまま処理水側窒素濃度の変動の要因となる。図8に流入水及び処理水の変動パターンを示した。ラグタイム(約14~16時間)をスライドさせるとほぼ変動パターンは流入水の変動パターンと一致した。この変動を回避し安定的に放流水の窒素濃度を維持するために、流入側である程度負荷調整を検討した。当浄化センターの水処理施設は、流量調整池(汚水調整池)をもたないため、ポンプ井容量程度の調整しかできないため先に述べた2つのピーク部分のうち特に負荷量の高い、13:00~16:00までの流入水量を調整可能な範囲(約10~20%)で水量を下げ負荷量調整することにより、処理水中窒素濃度は図9に示すとおり幾分緩和される傾向が認められた。

<理論的窒素除去率>

$$\text{最大理論窒素除去率} = [1 - (1/N) \cdot \{1/(1+R+r)\}] \times 100\% \quad N:\text{ステップ段数}, R:\text{返送比}, r:\text{循環比}$$



## 4. まとめ

硝化脱窒運転を行っていく上で、効率的送風量の調整と処理水全窒素濃度の安定的処理のための運転方法について検討した結果、硝化反応、脱窒反応におけるORP値の指標として各々160 mV程度、100 mV以下を維持することが必要である事が示唆された。又TOCN計による予測送風量にもとづき送風することにより効率的な送風ができることが示唆された。又、処理水全窒素濃度の安定的維持のためには、水量均等流入ではなく負荷量均等流入を行う必要があると考えられる。今後これらの指標をもとに送風量の管理を検討していくとともに、MLSS濃度(必要送風量のうちDEに関与)を実績にもとづき極力下げて運転していくことにより効率化を図っていく予定である。