

〔7〕排ガスの分析値を用いる活性汚泥プロセスの自動監視

東京工業大学 資源化学研究所 ○藤江 幸一 久保田 宏
日本碍子(株) 環境装置事業部 笠倉 忠夫

1 はじめに

活性汚泥法廃水処理では、エアレーションの為の動力費がプロセス全体での動力費の中で大きな割合を占めており、省エネルギーの要請が強くなって来ている今日では、処理の為のエネルギーコストが最小となるように、如何に効率よいエアレーションを行うかが重要な問題となっている。つまり、流入BOD負荷の変動に対応して、要求される処理水々質を確保出来るように酸素量を過不足なく供給しなければならない。

在来、エアレーションタンクへの通気量の制御には、液中溶存酸素濃度を測定し、これを一定に保つ方法が一般的に用いられている。しかし、この方法では溶存酸素電極の長期間にわたる信頼性などの問題点が残されている。

ここでは、在来の液中溶存酸素濃度を測定する方法に替って、エアレーションタンクからの排ガス組成の分析値を用いる活性汚泥プロセスの監視の方法について提案する。まず、エアレーション排ガスを分析することによって、エアレーションタンク内での生物化学反応の進行を時間遅れなくモニター出来、省エネルギーを目指した活性汚泥プロセスの通気量制御を行う際に、この監視方法が非常に有用であることを示す。次に、実操作条件下の都市下水処理場において行われたエアレーション排ガスの分析によって得られた知見、及びその場合の排ガスの捕集と分析方法について報告する。

2 エアレーション排ガス濃度と酸素利用率

エアレーションタンク内では、好気性生物化学反応によって酸素を消費し、換って生成ガスとして二酸化炭素を放出している。窒素の消費は無いとしてよいから、吹込み空気の酸素利用率 η_e は、排ガス中の酸素及び二酸化炭素モル分率 Z 及び Z_c の分析値より次式で求まる。¹⁾

$$\eta_e = (Z_0 - Z) / (1 - \delta Z_0 Z) Z_0 \quad (1)$$

但し、 $\delta = 1 - \beta$ 、 β は液中で酸素1モル消費当りに生成する二酸化炭素のモル数を表わし、次式により求められる²⁾。

$$\beta = Z_c (1 - Z_0) / (Z_0 - Z - Z_0 Z_c) \quad (2)$$

通常の下水処理エアレーションタンク内の条件では、液中で生成した二酸化炭素は、直ちに気相にCO₂ガスとして放散される物のほか、重炭酸イオン等の形で液中に溶解し、液流によって運び去られる物がかなり多く、液のpH或いは液滞留時間等の条件によって、生成した二酸化炭素のうち、気相に放散する物の割合が変化する。このことは、正しい酸素利用率 η_e の値を実測する為には、排ガス中の酸素モル分率の実測だけでは不十分で、二酸化炭素モル分率の正確な実測を同時に行わなければならない事を示している。

3 液中酸素消費量のモニター

定常状態でのエアレーションタンク内単位体積当りの酸素消費速度 q_{O_2} は、液流に乗ってタンク内を移動する酸素量を無視出来るとすると、タンク内に吹込んだ空気流量とこの時の酸素利用率 η_e の実測値から次式で計算される。

$$q_{O_2} = (G\dot{V}^* / V_L) Z_0 \eta_e / v_m \quad (3)$$

但し、 $G\dot{V}^*$ は標準状態(0℃、1atm)での供給空気の体積流量、 V_L はエアレーションタンク容積、 Z_0 は空気中の酸素モル分率、 v_m は酸素の分子容(0.7m³/kgO₂)である。

エアレーションによって液中に供給された酸素は、直接BOD成分の除去に利用される物のほか、汚泥の内生呼吸によっても消費される。今、流入廃水量 Q 、流入BOD値 S_0 、処理水BOD値 S_e とすれば、単位体積当りの

酸素消費速度 q_{O_2} は、 $q_{O_2} = Y_0 Q (S_0 - S_e) / V_e (1 - r_c)$ ④

但し、 $-r_c$ は内生呼吸による酸素消費速度、 Y_0 は BOD 除去の為の酸素収率であり、BOD_s として測定される酸素消費量とエアレーションタンクで実際に BOD 成分が除去される際の酸素消費量との補正値を表わす。従って、一例を Fig 1 に示すように、24 時間での酸素消費量とこの時除去された BOD_s の総量との関係を予め実測しておくことによって、 G_v と η_e 及び MLVSS の実測値から、除去された BOD 量を、BOD_s 値を測定することなしに直ちに知ることが出来る筈である。

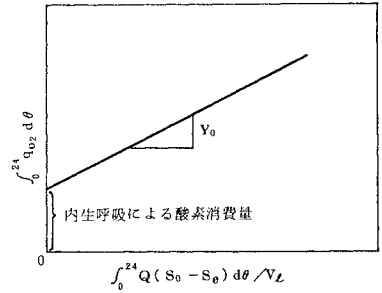


Fig. 1 液中酸素消費量と除去された BOD_s 総量の関係

4 散気性能指標のモニター

在来、エアレーションタンクの酸素溶解性能の評価は、実操業に入る前にタンクに満した清水に亜硫酸ナトリウムを添加し、所謂非定常状態法で測定された酸素移動容量係数 K_{La} によって行われてきた。しかし、実測時の条件が実操業条件と掛離れていることや、後述するように K_{La} が個々のタンクに固有の値であることなどから、多くの問題点を残していた。

タンクの大きさ、形状、或いは散気液深などによって影響されることなく、散気装置自体の性能を定量的に評価し得る指標として、次式によって与えられる散気性能指標 ϕ の利用が、久保田ら⁸⁾によって提案されている。

$$\phi = G_s h / K_{La} V_L \quad (5)$$

但し、 G_s は通気量 (m^3/hr , 20°C, 1 atm) である。

一方、酸素移動容量係数 K_{La} と供給空気中の酸素利用率 η_e の関係は、次式で与えられる。

$$\eta_e = \frac{V_L K_{La} v_m}{G_v Z_0} (\bar{C}_0 \bar{Z} - \bar{C}_L) \quad (6)$$

タンク内での平均の \bar{C}_0 と \bar{Z} に対しては²⁾

$$\bar{C}_0 = C_0^* \{ P^* + \rho_L (g/g_c) h / 20.670 \} / P^* \quad (7)$$

$$\bar{Z} = Z_0 (1 - \eta_e / 2) / (1 - \delta Z_0 \eta_e / 2) \quad (8)$$

従って、タンク内平均溶存酸素濃度 \bar{C}_L 及び排ガスの分析結果から、非定常状態法によることなく、実操業条件下での K_{La} を直接測定出来る。更に式(5)と(6)から K_{La} を消去して次式を得る。

$$\phi = v_m h (\bar{C}_0 \bar{Z} - \bar{C}_L) / Z_0 \eta_e \quad (9)$$

従って、排ガス中の酸素利用率 η_e と液中溶存酸素 \bar{C}_L を同時に実測することで、実操業時の散気装置の性能の経時変化を、容易にモニターし得る。

5 エアレーション排ガスの分析実験結果

実験は、2箇所の都市下水処理を行っている活性汚泥法エアレーションタンクに対して、実操業条件下で行われた。測定項目は、①エアレーション排ガスの組成(酸素濃度はジルコニウム電極を用いた酸素分析計、NGKP型、二酸化炭素は非分散型赤外線分析計、Beckman 864型によった)に加えて、②エアレーションタンクへの流入水及び処理水の BOD_s 値、③溶存酸素濃度(電極法、Beckman 1004型)、④MLSS、MLVSSなどであった。

エアレーション排ガスの捕集器は、ポリ塩化ビニル製で Fig 2 に示す構造の物を製作して用いた。本体には、姿勢のバランスを保持する為の浮きタンク1対と、余剰に捕集された排ガスを放出する為の水頭差を利用したガス排出管を備えている。

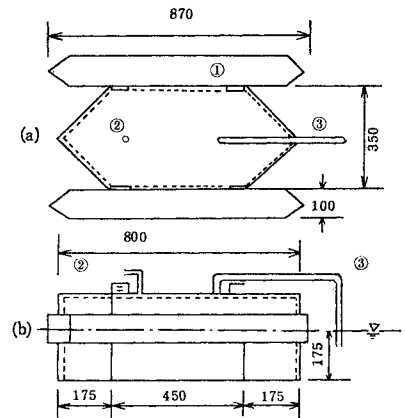


Fig. 2 排ガス捕集器 a) 平面図, b) 側面図 ①浮きタンク, ②ガス分析計へ, ③余剰排ガス排出管

実測の行われたエアレーションタンクからの排ガスの捕集方法を、エアレーションタンクの断面図と共に Fig 3 に示した。捕集器の姿勢を安定に保ち、十分な排ガスを捕集し得るサンプリング位置として、散気側のタンク壁面から 1.5 m の距離を選んで、排ガス捕集器を設置した。

Fig 4 に、H 処理場において測定を行った 24 時間でのエアレーションタンクの運転条件、即ち流入水量、返送汚泥量、通気量及び実測された流入水及び処理水 BOD 値の時間変化を示した。この運転条件において、エアレーションタンク内液の流れ方向の中央で実測された排ガス組成の分析値及び溶存酸素濃度、更に式(1)、(2)及び(9)によって計算される酸素利用 η_e 、 β 、及び ϕ の値の時間変化について Fig 5 に示した。Fig 4 に示されているように、流入水量が 6 日 4.00 P.M. に $800 \text{ m}^3/\text{hr}$ から $1,800 \text{ m}^3/\text{hr}$ にステップ状に変化した。

従って、この時点でかなり急激な負荷変動があったが、通気量及び返送汚泥量は一定に保たれたまま運転された。Fig 4 及び 5 を対比すると、 β の値が流入水量の増加につれて、かなり大幅に低下している。これは、前述したように生成した二酸化炭素が液中に溶解して測定位置より下流に移動し、その結果、気相中へ排出される二酸化炭素量が減少した為として説明される。

又、流入水量の増加は ϕ の値の増加をもたらしているように思われる。この原因については、返送汚泥量一定のまま流入水量が増加して、MLSS が減少した結果 K_{La} が減少した為と考えているが、詳細については今後の検討課題としたい。

エアレーションタンク入口から出口まで液の流れに添って、タンク内の 5 箇所で排ガスの分析結果より求められた η_e 、 β 及び ϕ の値の分布を Fig 6 に示した。タンク出口付近で β の値が大きくなっているが、これは前述したように二酸化炭素が液中に溶解してタンク内を移動する為である。 ϕ の値にも分布が見られるが、各散気装置への通気量が均一に保たれているという保証がないので、 ϕ の値はタンク内の平均値で評価されるべきだろう。

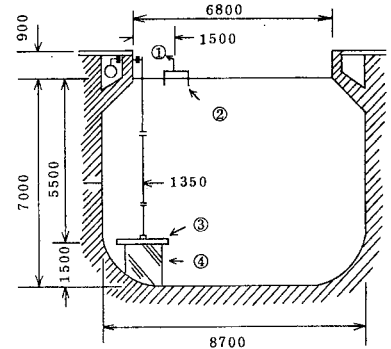


Fig. 3 エアレーションタンク断面図と排ガス捕集位置
①ガス分析計へ②排ガス捕集器③散気装置④集気台

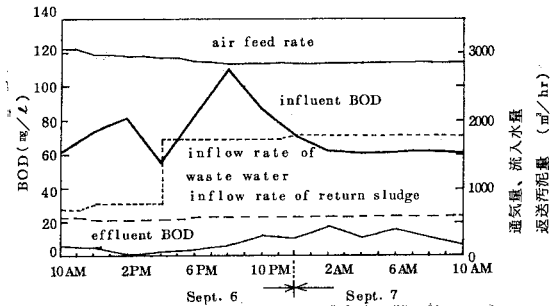


Fig. 4 24時間測定時のエアレーションタンク運転条件(流入水量、通気量、返送汚泥量、流入水および処理水 BOD 値)

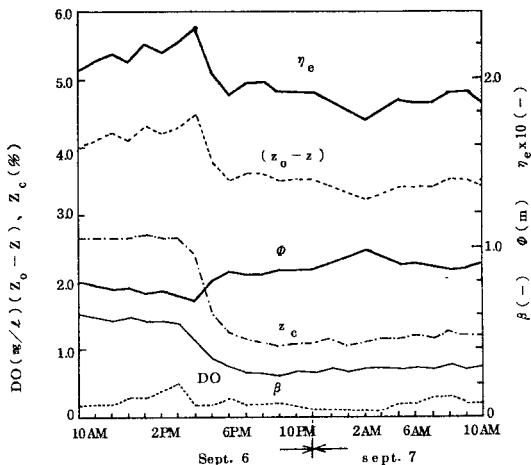


Fig. 5 液中溶存酸素濃度、エアレーション排ガス酸素および二酸化炭素モル分率の実測値と実測値より計算された η_e 、 β および ϕ 値の経時変化

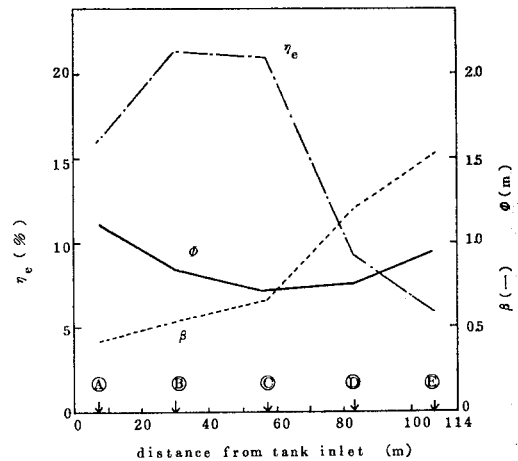


Fig. 6 エアレーションタンク内液の流れ方向における η_e 、 β および ϕ の実測値の分布

省エネルギーを目的として、エアレーションタンクへの通気量を制御する場合、エアレーションタンク内の液中溶存酸素濃度を、BOD除去速度に影響を及ぼさない最低値に保つ方法が用いられている。従来の通気制御では、液中溶存酸素濃度を直接検出して制御する方法が用いられて来たが、この方法では前述した電極の維持管理の問題に加えて、負荷変動によって溶存酸素濃度が変化した場合、溶存酸素濃度を設定値に戻す為の新たな通気量の決定が試行法によらなければならなかった。

これに対して、エアレーション排ガス濃度を検出する方法では、負荷の変動に対応して酸素利用率の実測値と通気量とから、液中での酸素要求量が直ちに判る。一方、散気性能指標 ϕ の値が既知であれば、液中溶存酸素濃度の設定値とこれに対応する酸素利用率の関係は、式(6)によって与えられる。負荷変動後の酸素要求量の値から、酸素利用率を、従って溶存酸素濃度を設定値に戻す為に必要な新たな通気量は、式(3)及び(6)から計算により求めることが出来る。但し、 ϕ の値が通気量等の影響を受けるので、この補正が必要である。

負荷変動があった場合、酸素利用率 η_e の実測値から新たな通気量 Gv/V_L を求める計算手順のフローチャートをFig 7に示した。このような計算を制御回路の中に組み込んでやればよい。但し、溶存酸素濃度の設定値に対応する酸素利用率は、 ϕ の値の変化を考慮して決められるべきである。

7 まとめ

上記に示したエアレーション排ガスの分析値に基づく活性汚泥法エアレーションタンクのモニターの特徴をまとめると、

1) 排ガスの酸素及び二酸化炭素の分析は容易に自動化出来、液中の溶存酸素濃度の分析などに比較して、長期間にわたり安定した高精度の分析値を与える。

2) 省エネルギーの問題と直接関連した供給した空気中の酸素利用率の瞬間値を知ることが出来る。

3) この酸素利用率と通気量の積から、エアレーションタンク内の酸素要求量を知ることが出来る。この値はタンク内のBOD除去速度に比例するので、エアレーションタンク内での生物化学反応の進行状況を、時間遅れなく、定量的に自動監視できることを意味する。

4) タンク内酸素要求量から水質の分析結果を待たずに、処理施設でのBOD₅除去総量値の推定が可能となる。

5) エアレーションタンク内での負荷変動に対応した通気量の自動制御に際して、この排ガスの分析値を用いれば、溶存酸素濃度を検出して行う場合の制御法と比較して、液中溶存酸素濃度の設定値を保つのに必要な通気量が推定出来、より合理的な制御法の採用が可能となる。

6) 又、エアレーションタンク内の酸素移動容量係数の瞬間値が実測され、散気装置での目づまりなどによる散気性能の経時変化についても定量的な監視が可能となる。

主な使用記号

- C_L : 液中溶存酸素濃度
- Gv : 標準状態での通気量
- h : 散気液深
- L : 散気装置からの鉛直方向の距離
- V_L : エアレーションタンクの容積

引用文献

- 1) 関沢ら; 醱酵誌, 55, 284 (1977)
- 2) 久保田ら; 下水道協会誌, 17, 197 (1980) 印刷中
- 3) 久保田ら; 下水道協会誌, 16, 184, 1 (1979)

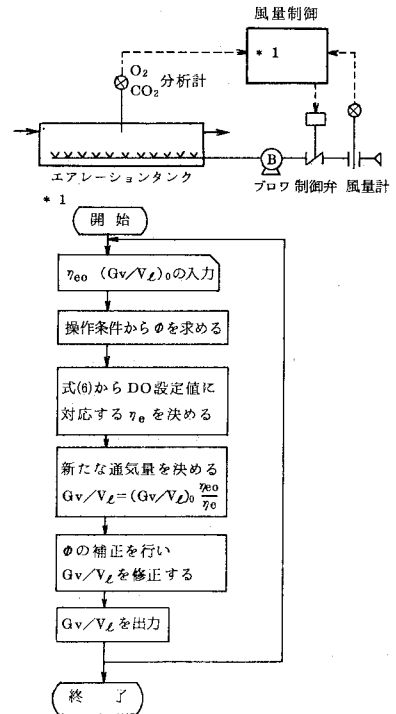


Fig. 7 排ガスの分析値を利用した通気量制御回路とフローチャート