

# [17] 下水処理場における呼吸速度の自動測定

(株)明電舎 水処理技術部 ○富士元 英二 岩堀 恵 祐  
 “ ” “ 佐藤 尚 之

## 1. はじめに

活性汚泥微生物は、流入廃水中の基質および細胞内に蓄積された貯蔵物質を酸化分解する過程で酸素を消費する。この消費された酸素は、活性汚泥微生物の増殖と生命維持に必要なエネルギーを供給するために利用されるので、その酸素消費量つまり呼吸速度（以下、 $rr$ と称す）を正確に把握することは、活性汚泥プロセスを適正に運転・管理するうえで極めて重要なことである。活性汚泥プロセスに及ぼす $rr$ の影響については、これまで多くの研究者により報告されており、微生物活性度、ショックロード、流入毒性の検出ならびに制御パラメータとして有効な指標であることが示唆されてきた。<sup>1),2),3)</sup>

活性汚泥の $rr$ を自動的に測定する装置は、これまで幾つか考案されている（図-1）が、下水処理場におけるモニターあるいはプロセス制御用として長期間使用できる自動測定装置の実用化は、まだ行われていないのが現状である。そこで、演者らは活性汚泥の $rr$ を自動的に測定する装置を開発し、実処理場にてフィールドテストを行ってきたので、以下に本装置の概要と実処理場への適用についてその概略を報告する。

## 2. 呼吸速度測定装置

### 2.1 装置の概要

呼吸速度測定装置（以下、 $rr$ 計と称す）のブロック図を図-2に示す。 $rr$ 計はエアレーションタンクに浸漬された検出部と動作工程に従い検出部を作動し $rr$ を演算する電子回路から成り立っている。 $rr$ 計の検出部構造図を図-3に示す。検出部はDO電極、攪拌器および水温検出部の装着された測定槽と2つのピンチバルブより構成されている。DO電極装着下部には気泡によりDO電極を洗浄する機構が内蔵されている。

測定原理は下水試験方法<sup>4)</sup>に準じた方法を用いている。すなわち、検水吸込口よりエアリフトで測定槽内に活性汚泥混合液を採取し、ピンチバルブ $V_2$ を閉じてエアレーションを行い、所定のDOレベル（5ppm）に達したらエアレーションを停止し、槽内の気泡抜きを行ってからピンチバルブ $V_1$ を閉じる。それから、攪拌器により槽内の混合液を攪拌しながら、槽内DO濃度の減少をDO電極により検出する。この時、DO濃度が2ppm減少する時間を正確に計測して、単位時間あたりの減少DO濃度（ $rr$ ）を演算する。採水は1回の測定で約1ℓ、測定時間は約30分間である。この $rr$ 計は、①浸漬型であるので外気温の影響を受けず、②ピンチバルブを使用しているので採水トラブルがなく、③% / ppm変換器の使用によ

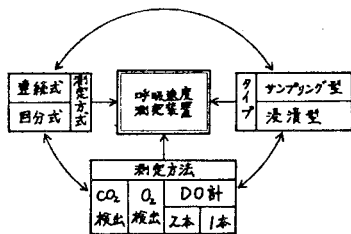


図-1 呼吸速度測定装置の様式

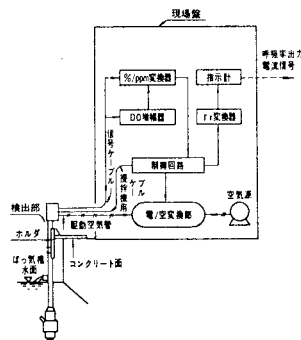


図-2  $rr$ 計のブロック図

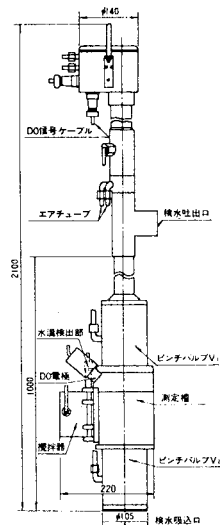


図-3 検出部構造図

りDO計の校正が容易であり、④気泡洗浄機構を備えているのでDO電極が比較的汚れにくいという特徴を有している。

以上のことから、本装置は図-1に示した様式のなかで、回分式の浸漬型でDO計(1本)を用いた呼吸速度測定装置である。

### 2.2 測定結果

本装置 $r_r$ 計を実験室および実処理場の活性汚泥混合液を用いて測定を行い、下水試験方法による手分析値と $r_r$ 計の指示値の比較検討を行った。実験室スケールの測定は、窒素源として全窒素の約1/3のアミノ酸窒素を含み、炭素源として乳酸、還元糖を含むコンテイブ・リカーを基質としてFill and Draw方式により培養された活性汚泥混合液を用い、その汚泥濃度は約3000ppmであった。また、実処理場では、AからEの5つの回路から構成され(整流壁により区切られている)、流入廃水はAとBの2つの回路に流入するエアレーションタンクのB、C、Dの各回路に $r_r$ 計を設置し、各々の回路の $r_r$ を連続的に測定した。

本装置はDOセンサーによる密閉測定槽内のDO濃度の減少を検出するため、その精度は測定槽内に装着されたDOセンサーの出力値に依存していると考えられる。そこで、 $r_r$ 計に装着されたDOセンサーの特性を検討するため、 $r_r$ 計と同じ位置に気泡洗浄式DO計<sup>5)</sup>を設置し、DO計出力値と $r_r$ 計のDO出力値の比較検討を行った。その結果、設置場所、流入負荷変動等の測定条件により若干異なるが、約1ヶ月間は両者のDO出力値にその差は認められなかったが、それ以上の期間では $r_r$ 計のDO出力値が劣化することがわかった。これは、同じ気泡洗浄機構を持つDOセンサーであっても、 $r_r$ 計のような密閉構造を持つ場合には、それだけエアリフトによる流速が小さく、測定槽内部およびDO電極部分に汚泥が付着しやすいためであると考えられる。下水試験方法による手分析値と $r_r$ 計出力値についても同様の結果が得られ、約1ヶ月間のその相関を図-4の通りである。

以上の測定結果から、各処理場、運転条件により多少は異なるが、約1ヶ月間は保守をしなくとも正確な $r_r$ 出力値を得られることがわかった。

### 3. 実処理場への適用

呼吸速度 $r_r$ を用いて活性汚泥プロセスを適正に維持管理する方法については、これまで多くの研究者により提案されている<sup>6),7)</sup>が、まだ実用化されてはいない。ここでは上述した $r_r$ 計を用いた流入基質量変動の検出とDO一定制御の可能性について実験的検討を行い、 $r_r$ 計の実処理場への適用について考察を行った。

#### 3.1 $r_r$ 計による流入基質量変動の検出

流入COD量とB、C、D回路における $r_r$ 計指示値の経時変化を図-5に示した。各回路とも24時間の汚泥濃度

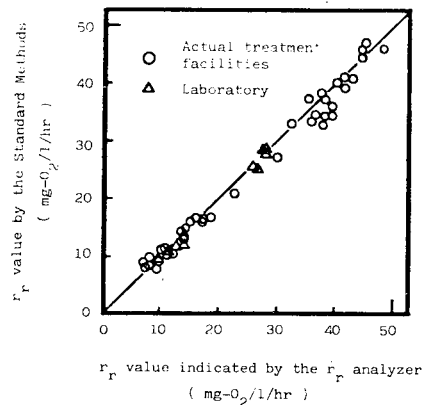


図-4 下水試験方法による手分析値と $r_r$ 計出力値との相関

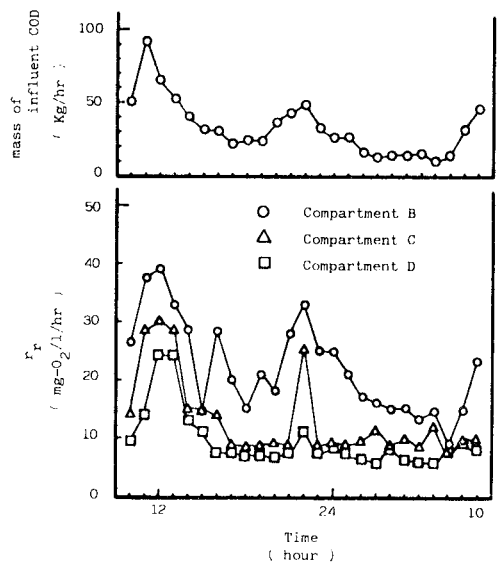


図-5 流入COD量と各回路における $r_r$ の経時変化

はあまり変化せず、その平均値はそれぞれ 2895, 2641, 2380 ppm であった。流入 COD 量は、1/時に大きなピーク、2/時に小さなピークのあらわれる典型的な都市下水処理場のパターンを示している。また、図-6, 7にB回路およびD回路つまりエアレーションタンク入口側と出口側の $r_r$ と流入COD量の関係を示した。これらの図から、流入COD量の変動に応じてエアレーションタンクの各位置における $r_r$ も変動しているが、B回路つまり入口側ほどその傾向が強いことがわかった。このことは、タンク入口側ほど最大の呼吸量を示し、エアレーション時間に比例して減少するパターンを示すという尾藤ら<sup>5)</sup>の報告と一致していることがわかった。また、Haas<sup>6)</sup>は変動する流入負荷に対して流入基質濃度を測定し、制御パラメータとして活性汚泥の $r_r$ を用いれば良好な状態を得ることができることを示唆したが、本実験の結果からも $r_r$ をエアレーションタンク入口側で連続的に測定すれば流入負荷変動に対応したフィードフォワード制御のパラメータとして $r_r$ を用いることが可能であることが明らかとなった。

### 3.2 $r_r$ 計によるDO一定制御の可能性

C回路におけるDO濃度と $r_r$ 計出力値の経時変化を図-8に示す。これから、DO濃度は活性汚泥の $r_r$ に反比例するというUsraelの報告<sup>7)</sup>を確認することができた。このことはエアレーションタンクのDO濃度は $r_r$ によりある程度律速できることを示しており、 $r_r$ を指標としたDO一定制御の可能性を示唆できるものである。

一般に、エアレーションタンク内のDO濃度は次式で示される。

$$dC/dt = K_{LA} \cdot (C_s - C) - r_r \quad (1)$$

ここで、 $C$ はDO濃度、 $K_{LA}$ は総括酸素移動容量係数、 $C_s$ は飽和DO濃度、 $t$ は時間を示す。

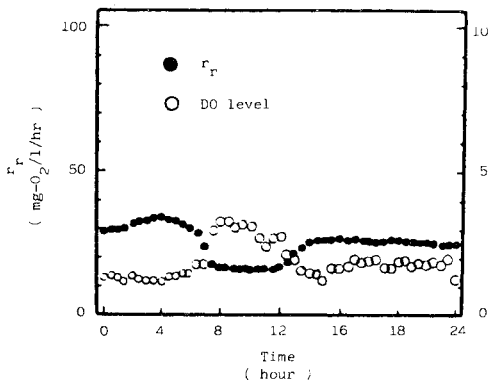


図-8 エアレーションタンクにおけるDO値と $r_r$ の逆相関

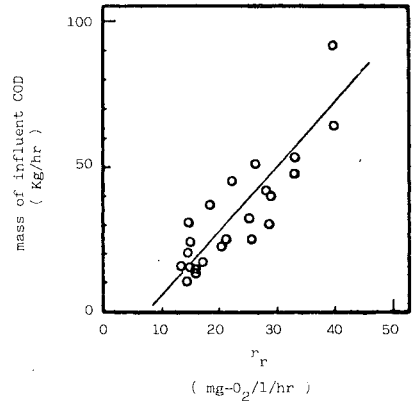


図-6 B回路における $r_r$ と流入COD量の関係

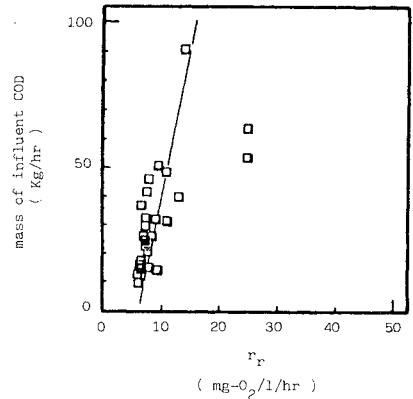


図-7 D回路における $r_r$ と流入COD量の関係

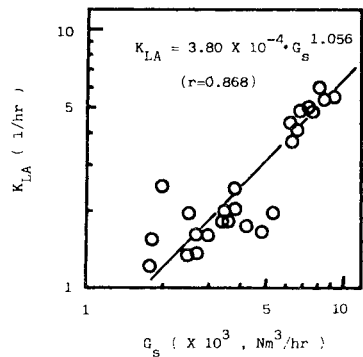


図-9 エアレーション風量 $G_s$ と総括酸素移動容量係数 $K_{LA}$ の関係

D O濃度がほぼ設定値 C set に制御されていると、 $dC/dt \approx 0$  と考えて、式-(1)は次式となる。

$$K_{LA} \approx r_r / (C_s - C_{set}) \quad (2)$$

したがって、D O濃度がほぼ一定に制御されている場合には、 $K_{LA}$ は $r_r$ のみの関数となると考えてよい。 $K_{LA}$ はエアレータの種類、設置位置、深さ、エアレーション風量、水温によって変わるが、エアレータが設置されれば種類、位置、深さの要因は一定となる。また、タンク内の水温は季節の変動はあるにしてもそれほど変化しないことから、 $K_{LA}$ に大きな影響を及ぼす操作変数はエアレーション風量である。したがって、一般的には $K_{LA}$ は次式で示される。

$$K_{LA} = \alpha' \cdot G_s n' \quad (3)$$

式-(2)、(3)から次式の関係が成り立つ。

$$G_s = \left[ \frac{r_r}{\alpha' (C_s - C_{set})} \right]^{1/n'} = \alpha \cdot r_r^n \quad (4)$$

ここで、 $\alpha$ 、 $\alpha'$ 、 $n$ 、 $n'$ は恒数である。

つまり、 $r_r$ を連続的に計測すればエアレーション風量 $G_s$ を求めることができ、この風量に対してタンク内のD O濃度を設定値に維持することができる。

ここでは、C回路で約2週間D O濃度を1ppmに制御した場合のデータを用いて式-(4)の妥当性を検討した。図-9に示したように、 $K_{LA} = 3.80 \times 10^{-4} \cdot G_s^{1.026}$ なる関係が得られ、設定D O濃度が1ppm、水温が24.3℃であることから、 $G_s = 267 \cdot r_r^{0.977}$ の関係式が得られる。C回路に設置した $r_r$ 計の出力値を用いて $G_s$ を計算した結果と実測 $G_s$ の比較を図-10に示す。これからわかるように、計算値は実測値に非常に良く一致しており、式-(4)の妥当性を検証することができた。つまり、 $r_r$ 計を用いてD O一定制御を行う可能性を示唆できたといえる。なお、実際の制御効果ならびに $r_r$ 計の設置位置については今後さらに検討していく所存である。

#### 4. おわりに

実処理場でモニターあるいはプロセス制御用に呼吸速度を測定する装置( $r_r$ 計)を開発した。この $r_r$ 計は下水試験方法に準じた方法で $r_r$ を測定する装置で、約1ヶ月間保守をしなくても正確な $r_r$ 出力値を得ることができた。 $r_r$ 計を実処理場に適用した結果、エアレーションタンク入口側で連続的に運転すれば、流入負荷変動に対応した制御パラメータとして $r_r$ を用いることが可能であり、またD O一定制御を行う可能性のあることを示唆することができた。

#### 参考文献

- 1) Veits, G.: GWF - WASSER / abwasser, 120, 2 / 1 (1979) 2) Block, J.: Water Res., Vol. 8, No. 11, 11 (1974) 3) Andrews, J. F.: Prog. Water Technol., Vol. 8, 45 / (1977) 4) 下水試験方法(1974年版), 日本下水道協会編 5) 天野, 漆原, 富士元: 第13回下水道研究発表会講演集, 572 (1976) 6) Haas, C. W.: J. WPCF, Vol. 51, No. 5, 938 (1979) 7) Younkin, C. S. et al: Advances in Instrumentation, Vol. 33, No. 3, 107 (1978) 8) 尾藤, 北原: 用水と廃水, Vol. 15, No. 8, 3 (1973) 9) Usrael, G.: Prog. Water Technol., Vol. 8, 245 (1977)

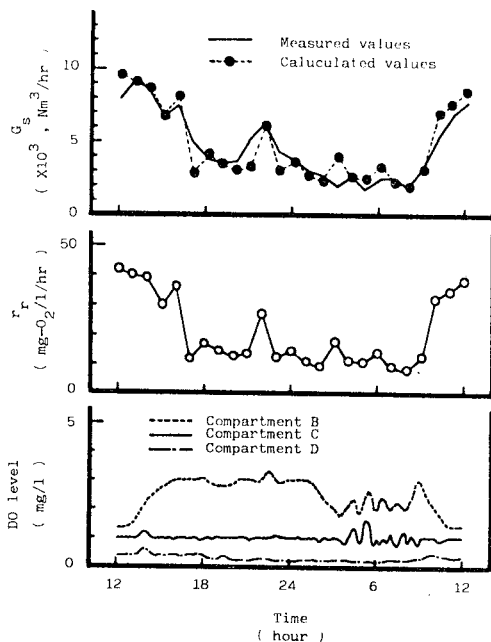


図-10 C回路におけるD O一定制御の結果