

DOメータの動特性について

大阪大学基礎工学部 正会員 ○ 芝 定孝

大阪大学基礎工学部 瀧川 泰行

大阪大学基礎工学部 三原 淑治

1. はじめに 環境計測は環境システムのモデル化や状態推定の基礎データを得る為に重要な不可欠な作業の一つである。しかもそのシステムが time-invariant な取扱いから time-varying な取扱いへと発展してきた今日においては stationary な状態での計測から non-stationary な状態での計測が問題となってくる。従来の環境計測においては主として静特性（精密性）を重視し、動特性（応答性）は軽視され勝ちであったが、状態の非定常特性を記述する dynamical system を検討する場合には測定系の動特性を的確に把握しなければならない。しかし、近年多くの研究分野でシステムの記述が具体モデルから抽象モデルへと変化するに従い、城々の計測に対する関心も主としてハードウェアからソフトウェアへと移行して来ているように思われる。更に、モデルそのものを重視するあまり計測されたデータの特性についてあまり吟味されないままに利用されることが多いようである。本研究は水質指標としてよく利用される水中の溶存酸素濃度を計測して得られるデータの取扱い方について、特に動的誤差の面から検討したものである。溶存酸素濃度の測定的主力は漸く従来のウインクラ法から DOメータによる方法へと移り、その測定値は動的システムのデータとして利用され易くなった。しかし、データの On-line 処理を行なう場合等には DOメータの動特性を十分把握しておかねば、誤った推論を下す危険性を含んでいるものと思われる。

2. DOメータによる測定系のフィルタの設計 ここで述べる動特性は厳密には DOメータだけによるものではなく、一次変換（ピックアップ）、二次変換（増幅）および出力変換（記録）の全体に対する動特性となる。二次変換および出力変換の応答速度は一次変換の応答速度に比して十分速いので測定系の動特性は DOメータのセンサー（一次変換）の動特性を示しているものと見なすことができる。理想計器の動特性は瞬時応答であるが、溶存酸素濃度のセンサーによるアナログ変換ではセンサーの中でエネルギーの蓄積がある為に入出力信号の波形は必ずしも相似とはならない。このような種要素を含む DOメータの場合にはアナログ測定系の応答が遅れ、例えば Fig.1 のような応答特性が得られる。この DOメータでは図中の破線で示されるステップ入力に対して実線のような応答となる。Fig.1 は溶存酸素が十分飽和置換された水中にセンサーを浸して置き、飽和溶存酸素の水溶液に投入して得たものである。Fig.1 よりこの測定系は一次遅れと無駄時間によって入出

$$D(s) = \frac{Z(s)}{Y(s)} = \frac{\alpha}{s + \alpha} e^{-\tau s} \dots\dots\dots (1), \quad \frac{1}{\alpha} \frac{dZ(t)}{dt} + Z(t) = Y(t - \tau) \dots\dots\dots (2)$$

力関係を近似することからでき、Eq.(1) のような伝達関数 $D(s)$ が得られる。 $Y(s)$ は入力、すなわち溶存酸素濃度 $y(t)$ のラプラス変換形で、 $Z(s)$ はセンサーによって filtering された測定

値 $z(t)$ のラプラス変換形である。また、 α は時定数で τ は無駄時間である。Eq.(1)を逆変換すればEq.(2)が得られる。従って、この測定系で得られる測定値 $z(t)$ から溶存酸素濃度 $y(t)$ を推定するには、定数 α と τ とを予め求めておき、Eq.(2)を用いて逆算すればよい。 α と τ とはEq.(2)のフィルタ回路にテスト・シグナルとして $y(t)$ が既知のもの、例えばFig.1の破線のようなステップ関数を入力として $z(t)$ - t 曲線を求めれば算出できる(Fig.1では $\alpha=0.068/\text{sec}$ 、 τ は省略)。本実験に用いたDOメータはBeckmanの39553- O_2 -Sensor(一次変換)と同じく100800-Fieldlab(二次変換)とから構成されている。センサーは液ガス両用で銀陽極とロジウム陰極とから成り、塩化カリウム溶液が充填されており、サンプル中の酸素はテフロン薄膜を通してセンサー内へ拡散し、電極反応により電流が生じる。従って、電極の汚れ、テフロン薄膜の損傷等により経時変化が生じ、DOメータの静特性と動特性とは経時変化する。Fig.1のような動特性を有するDOメータを用いて、Eq.(3)のような一次反応型

$$\frac{dy}{dt} = -K(y-x) \quad \text{----- (3)}, \quad \frac{Z(s)}{X(s)} = \frac{Z(s)}{Y(s)} \cdot \frac{Y(s)}{X(s)} = D(s) \cdot G(s) = \frac{\alpha}{s+\alpha} \cdot \frac{K}{s+K} \cdot e^{-\tau s} \quad \text{----- (4)}$$

のモデルで近似できる曝気槽における溶存酸素濃度の非定常変化を測定して、得た結果をFig.2に示す。図中の実線は溶存酸素濃度の測定値で破線は推定値である。 $x(t)$ は飽和溶存酸素濃度、 $y(t)$ は溶存酸素濃度、 K は酸素の初動容量係数である。Eq.(3)の伝達関数を $G(s)$ とすれば、この測定系から得られる入出力関係はEq.(4)で記述される。ただし、 $X(s)$ は $x(t)$ のラプラス変換形である。Eq.(4)は二次遅れ系であり、ステップ入力 $x(t)$ に対する出力 $y(t)$ の測定値 $z(t)$ はS字状曲線となることが予想される。実際、Fig.2の実測値はS字状曲線となっており、またEq.(2)のフィルタ回路から推定した溶存酸素濃度 $y(t)$ は破線のようになり、この曝気槽をEq.(3)で近似したことの妥当性を示している。Fig.2の実線、即

$$z(t) = \frac{1}{K\alpha} + \frac{1}{K\alpha} \left\{ \frac{1}{\alpha} e^{-\alpha(t-\tau)} - \frac{1}{K} e^{-K(t-\tau)} \right\} \quad \text{---- (5)}$$

ち測定値がEq.(5)で記述されるのは明りである。

3. おわりに DOメータの測定系は一次遅れで近似される動特性を有することから分かった。この結果から状態量・測定値間のフィルタ回路はEq.(2)で構成できる。DOメータについては酸素飽和基準水による静特性の校正とともに、ステップ等既知入力関数による動特性の校正をも行なう必要がある。特にデータのOn-line処理等の場合には測定系の動特性に注意せねばならない。

