

## TS 法の基本的な考え方

### (1) 共通操作

TS 法では、共通して活性汚泥混合液を一定速度で曝気して、その過程の DO の変化を解析します。

曝気槽内の混合液をサンプリングして本方法の曝気装置で曝気していくと廃水中の溶存酸素濃度 DO は曝気経過時間 t とともに上昇していくが、その変化は(1)式で表されます。

$$\frac{dDO}{dt} = K_{La} (DO_{sat} - DO) - (ASact + BODact) \quad (1) \text{ 式}$$

ここに  $DO_{sat}$  は飽和溶存酸素濃度[mg/l]

DO は曝気槽内溶存酸素濃度[mg/l]

$K_{La}$  は総括物質移動係数[1/min] (3StepDO 解析法では酸素吸収係数と称す)

ASact は活性汚泥が呼吸で使う酸素消費速度[mg/l/min]

BODact は活性汚泥が BOD 成分の分解で使う酸素消費速度[mg/l/min]

(1)式右辺第 1 項は曝気装置からの酸素供給速度であり、第 2 項は活性汚泥が呼吸および BOD の分解で使う酸素消費速度で、一般的には  $R_r$  の記号で表されます。

ASact は汚泥の基礎代謝呼吸による酸素の消費速度です。基礎代謝呼吸なので BOD 成分とは直接無関係で短時間内ではほとんど一定です。ASact は概ね DO 値が 0.5mg/l 以上あれば、ASact は DO 値に無関係に一定であることが知られており、またこのことは BOD 成分がほとんど 0mg/l の混合液を酸素の供給を断った状態で溶存酸素濃度が高い状態から DO の変化を測定すると直線状に減少していくことで容易に実証できます。

微生物が BOD 成分を分解する第一段階は、BOD 成分を微生物の消化器の細胞膜から体内に取り込み、蓄積可能物質に変換することです。TS 法の 1 時間程度の反応で細胞膜を通過できるのは BOD 成分のうち比較的分子量が小さい成分で、これに該当する BOD 成分を易分解性有機物と称し、BODact は汚泥が易分解性有機物を摂取し、蓄積可能物質に変換する際に必要とするエネルギーを得るための酸素消費速度です。

BODact は汚泥がその物質に馴化しているかどうか、汚泥の状態、水温、pH、塩濃度等の棲息環境などで変化します。

一方、分子量が大きい BOD 成分は一旦加水分解を経て易分解性有機物にする過程が必要で、一般的には蓄積可能物質への変換までには長い時間を要します。1 時間程度の酸素の消費速度の変化の測定では、ASact と区別がつかないため、便宜上 ASact に含めます。易分解性有機物の蓄積可能物質の変換反応は、易分解性有機物ごとに固有の反応速度を示します。易分解性有機物がメタノールのような単純な物質の集合体の場合は、各成分毎の

分解速度に対応した階段状の分解曲線となり、容易に BOD 成分と 1 対 1 に特定できます。

易分解性有機物が殆ど 0mg/l の混合液の場合、(1)式の BODact は殆ど 0 となり(1)式は以下のようになります。

$$\frac{dDO}{dt} = K_{abs}(DO_{sat} - DO) - AS_{act} \quad (2)式$$

ASact は前述のごとく概ね DO > 0.5mg/l では DO に無関係に一定であるから概ね DO > 0.5mg/l の範囲で(2)式は容易に積分でき(3)式で表されます。

$$DO = \alpha - (\alpha - DO_0) \exp(-KLa \cdot t) \quad (3)式$$

但し  $\alpha = DO_{sat} - AS_{act} / KLa$

DO<sub>0</sub> は曝気を開始したときの初期値です。また (3) 式は曝気経過時間 t が十分な大ききになれば右辺第 2 項は無視できるから

$$DO = \alpha = DO_{sat} - AS_{act} / KLa \quad (4)式$$

の値で一定となり、この値を DO<sub>hf</sub> で表せば、DO<sub>hf</sub> は BOD 成分が殆ど 0mg/l の混合液を曝気した場合、最終的に到達する DO 値と定義でき、(4)式は

$$DO = DO_{hf} - (DO_{hf} - DO_0) \exp(-KLa \cdot t) \quad (5)式$$

と書き直せます。(5)式による DO の変化は図 2-2-1 の 1 の点線に示すような曲線となります。初期値 DO<sub>0</sub> が DO<sub>hf</sub> の場合は図 2-2-1.2 の 1 に示す直線となる。

図 2-2-1

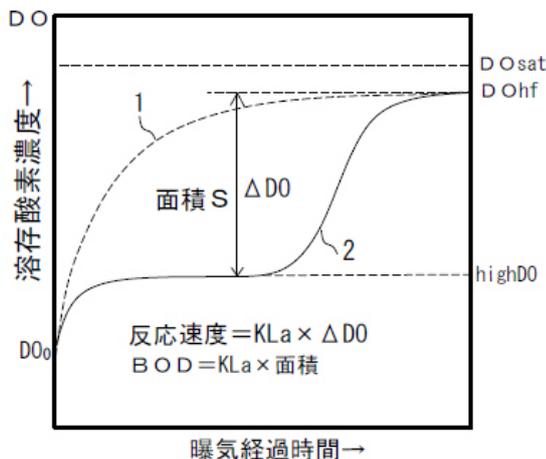
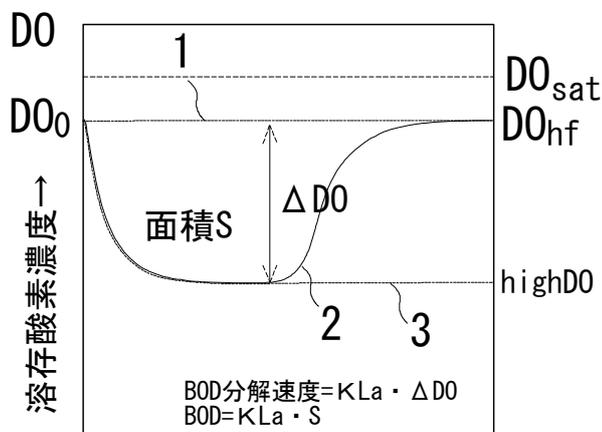


図 2-2-1.2



一方混合液中に BOD 成分が存在する場合、BODact は無視できない値をもち、さらに BODact の値は主として分解対象の BOD 成分が変わるため、曝気経過時間 t とともに大きな値から小さな値へ変化し、最終的に分解できる BOD 成分がなくなれば BODact はほとんど 0 になる変化をします。このため(1)式は単純に(5)式のように積分できませんが、DO の変化は図 2-2-1 の 2 の実線の曲線で示すような曲線となります。この曲線はメタノールのような単純な BOD 成分の場合には、分解中は DO は酸素供給速度と ASact + BODact の酸素消費速度でバランスする低いレベルで一定となり、分解が終了すると、速やかに DOhf で一定となる図 2-2-1 の 2 の実線のような曲線となります。

今、曝気を開始したときの DO の初期値 DO<sub>0</sub>を同じとし、混合液中の BOD 成分が殆ど 0mg/l の混合液を曝気したときの(5)式で表される DO 変化曲線を図 2-2-1 の 1 の点線で表し、混合液中の BOD 成分が存在する場合の混合液を曝気した場合の DO 変化曲線を図 2-2-1 の 2 の実線で表した場合、各曝気経過時間における、点線と実線の値の差は (1) 式 (2) 式からその時点における酸素消費速度による差を表し、この差を曝気経過時間 t で積分した値は両曲線で囲まれた面積 S に相当し、この値に KLa を掛けた値は微生物が蓄積可能物質に変換する際に使用する酸素量に相当します。この値を TS 法では BODts と称します。

J I S 法の BOD (BOD<sub>5</sub>) 測定法は 5 日間という長時間で測定するため、易分解性有機物を摂取し蓄積可能物質に変換する際に必要とするエネルギーおよび加水分解を経て体内に取り込まれる際のエネルギーおよび体内に取り込んだ栄養物を使って代謝を行う際のエネルギーを得るために消費される酸素量の合計を測定します。BODts は BOD<sub>5</sub> とは異なる値ですが、BOD<sub>5</sub> と極めて相関性の高い値になります。

また図 2-2-1 の 1 の点線と 2 の実線の乖離幅 (正確には DOhf - highDO) × KLa は微生物が混合液中の BOD 成分を分解する酸素消費速度に相当します。成分濃度が一定の液(基準液)の酸素消費速度を TS 法では「汚泥活性度」と称し、微生物の健康状態を表す指標とします。

## (2) 曝気槽内で消費される酸素量と BOD 除去のメカニズム

活性汚泥の教科書(「公害防止の技術と法規」水質編…監修 通産省環境立地局)には、活性汚泥に必要な空気量(酸素量)の計算式は以下のように記述されています。

$$X = a \cdot Lr + b \cdot Sa \quad \dots (1) \text{ 式}$$

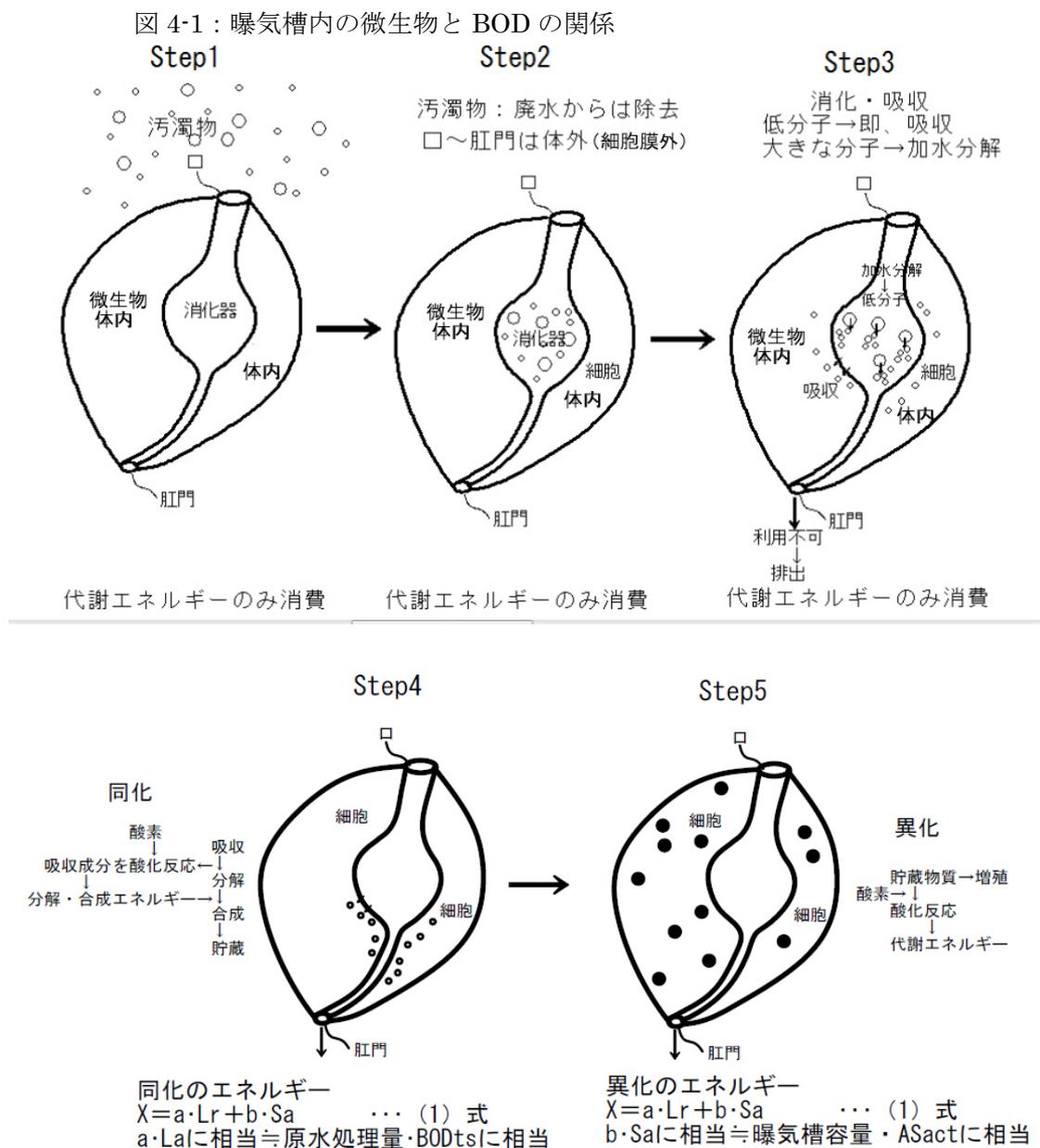
X: 必要酸素量[kg/d]、Lr: 除去 BOD 量[kg/d]、Sa: エアレーションタンク内汚泥量[kg]

a: 除去 BOD のうちエネルギー獲得のため利用される割合 0.35~0.55

b: 汚泥の内生呼吸に利用される割合 0.05~0.24

$a \cdot L_r$  は曝気槽内で汚泥が汚濁物（BOD 成分）を摂取して、微生物体内に蓄積可能物質（高等生物でいえば、グリコーゲンや脂質、たんぱく質など）に変換するためのエネルギーを得るために消費する酸素量に対し、 $b \cdot S_a$  は曝気槽内で汚泥が体内に蓄積した物質を、生体の維持（代謝）や増殖に使用するエネルギーを得るために消費する酸素量を表すものです。

図 4-1 は、IWA（国際水協会）の活性汚泥モデル（ASM3）の考え方に、弊社の解釈を加えて、曝気槽内の微生物と BOD の関係を模式的に示したものです。



※Step2 の段階で、廃水からは汚濁物は除去されるが、継続的に除去するためには、少なくとも Step4 の段階で、消化器内を空にしなければならない(つまり  $BOD_t = \text{反応速度} \times \text{HRT}$  (水理的滞留時間: 曝気槽容量/原水処理量=反応時間) を満足しなければならない)。と同時に、Step5 で、Step4 で微生物体内に蓄積した栄養物と同等の量を、代謝と増殖で消費しなければならない(そのための酸素量: 曝気槽容量×内生呼吸速度  $AS_{act}$ )。…図 4-2 参照

活性汚泥における Step4 の反応は、原水の基質(成分)と基質を分解し体内蓄積可能物質に変換・合成するために適合する酵素→微生物群が必要なため、活性汚泥ごとに異なる性質となります。一方、Step5 の反応は、微生物の体内蓄積栄養物を消費する反応で、好気性生物に概ね共通の反応なので、MLSS に代表される指標で、共通的に扱うことができます。

※原水の BOD のうち、微生物にとって真の栄養分となるのは、BOD から分解合成するためのエネルギー分を控除した値 ( $\rightarrow(1-a) \times BOD$ ) になります。つまり  $(1-a)$  は、基質により異なり、このファクターは余剰汚泥の発生 ( $\rightarrow$  栄養塩 N、P の必要量) など重要な運転管理指標になります。

図 4-2: 微生物からみた酸素消費 (流入水 BOD の処理)

## 流入水BODの処理

