

処理水 BOD 測定機

《 TSbod : ティーエスビーオーディー 》

概要解説 ver1.0

(2022 年 6 月)

開発元 : 株式会社 小川環境研究所

〒251-0055 神奈川県藤沢市南藤沢 1-7-6
フォーラムビル 101

Tel 0466-24-6382

URL <https://www.ogawa-eri.co.jp>

1. はじめに

◎活性汚泥運転に必要なこと

生産プロセスにおいては、コンピュータ技術により、制御技術・管理技術が著しく向上している。生産プロセスのなかで、最も遅れをとっているのが廃水处理プロセスといつてよい。なかでも微生物による廃水处理、その代表プロセスである活性汚泥処理においては、いまだに運転管理を経験と勘に頼っている現状がある。

例えば、廃水处理の現場では、結構日常的におきる“原水の BOD 負荷が低いのに処理水が悪い”という現象さえ、キチンと説明できない状況がある。このことは、従来行われている活性汚泥の運転管理における測定データだけでは決定的に不足している項目があるということを示している。その項目は、

①微生物の活性

②原水の BOD 濃度と分解性

です。

活性汚泥は立派な微生物反応装置であり、反応速度（微生物の活性×原水の分解性）を管理するのは当然であるが、簡便な測定装置がないため、いつの間にか、測定しない状態が当たり前になっている。しかしながら、反応速度を知らなければ定量的な管理ができず、オペレータの経験と勘に頼ることにならざるを得ない。

TS シリーズ（TSanalyzer、TSchecker、TSbod）はまさにこのニーズに応える新しい手段です。

（TS シリーズの基本となる測定・解析法は（株）小川環境研究所の特許です）

◎TSbod は活性汚泥の処理水 BOD の連続測定機です。

活性汚泥の処理水 BOD を適格に管理することは、排水規制上また運転管理上、極めて重要なことです。

通常 BOD は測定に時間がかかるので、処理水の COD や TOC を測定し、BOD との相関関係から処理水 BOD を推測しますが、活性汚泥の原水の性状によっては、処理水の COD や TOC が大きい場合があります、これに原水変動などが重なると、通常の COD や TOC の変動に紛れて、相関関係から処理水 BOD を推定することが非常に困難になります。

処理水 BOD 連続測定機は、曝気槽から処理済みの活性汚泥混合液をサンプリングして、TS チェッカーと同様の操作で活性汚泥混合液の酸素消費量から、処理水 BOD を測定し結果をトレンドグラフに表示します。測定はサンプリングから測定結果まで 120～180 分を 1 サイクルとして、1 日に 10 回程度、自動でサンプリング→測定結果を繰り返します。

2. 装置構成

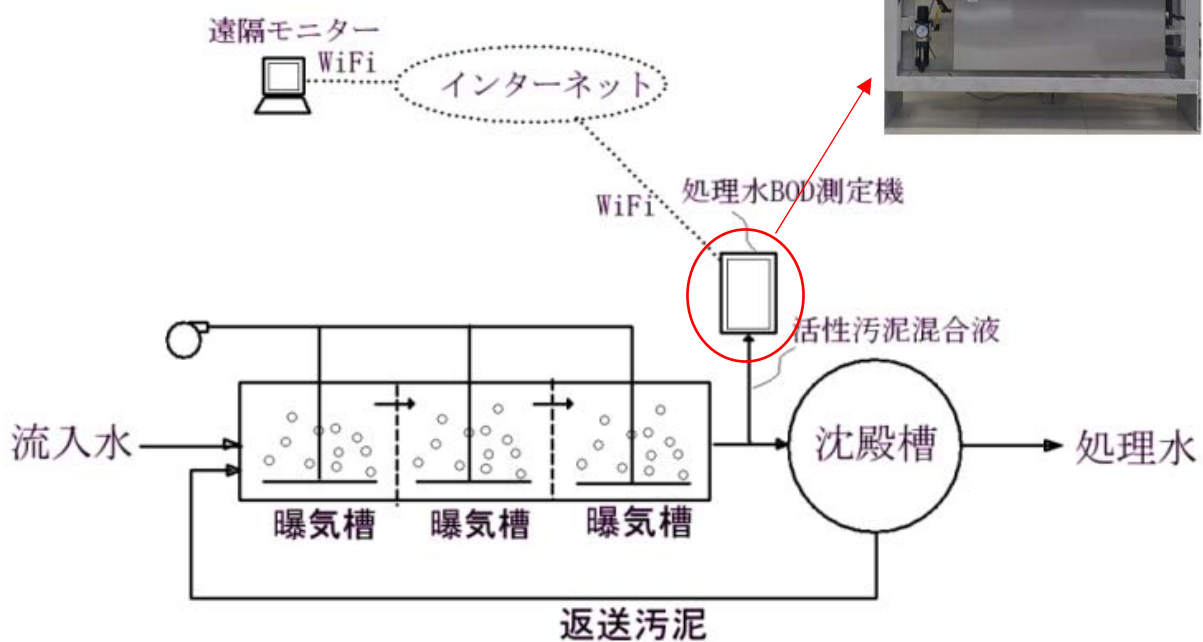
測定機本体は曝気槽上に設置し、曝気槽の出口から処理済みの活性汚泥混合液をサンプリングして活性汚泥混合液の BOD を測定。活性汚泥混合液のサンプリング→BOD 測定→装置の洗浄を 1 サイクルとして、これを自動で繰り返すことで 2 時間～3 時間ごとに測定した BOD をトレンド表示します。設定で測定値を WiFi でネットにアップすることで、任意の場所から測定結果を閲覧・監視できます。図は装置構成の例です。

図 2-1：装置全景写真

幅 88cm×奥行 30cm×高さ 113cm



図 2-2：装置校正



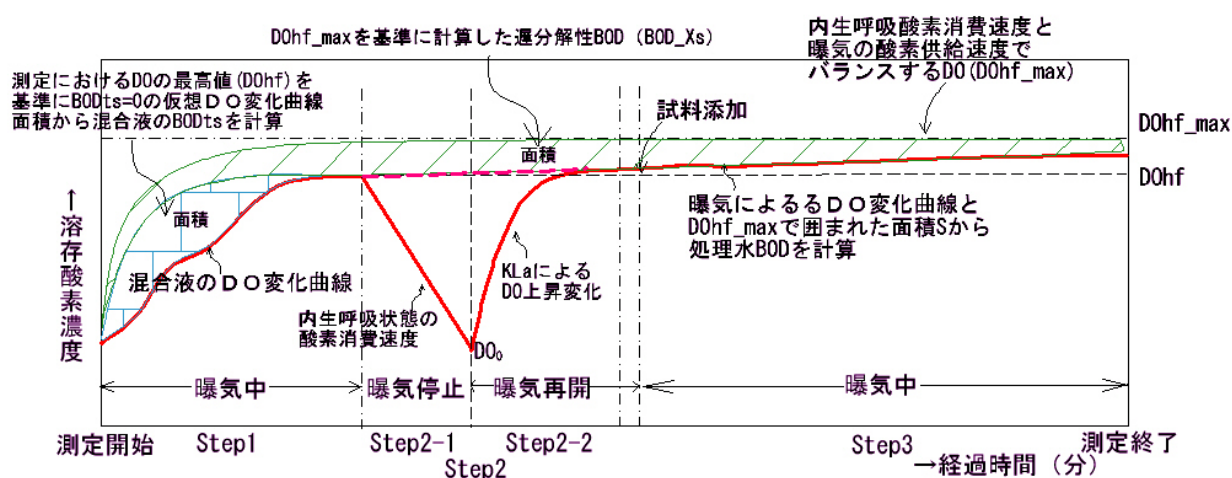
◎測定基本パターン

図 3 に TSbod での処理水 BOD 測定は、曝気槽出口の活性汚泥混合液をサンプリングして、その活性汚泥混合液を測定装置で曝気したときの DO 変化から BOD を測定します。サンプリングした活性汚泥混合液は活性汚泥で処理済なので、その値は殆ど沈殿槽の処理水になります。

処理水 BOD の測定操作における DO 変化の基本パターンを示します。

各 Step の切替や機器操作はコンピュータが設定値に基づき判断し、曝気装置や添加電磁弁等を自動操作し、結果を表示します。

図 3 : TSchecker の測定基本パターン



Step1:TSbod 装置にサンプリングした活性汚泥混合液を $BOD \rightleftharpoons 0$ (内生呼吸状態) まで曝気して DOhf (汚泥の内生呼吸による酸素消費速度と曝気による酸素供給速度がバランスする DO 値) を取得する。

Step2-1：曝気を停止し、DO が低下する変化から、内生呼吸時の酸素消費速度（ASact）を測定

Step2-2 : DO0 から曝気を再開し、曝気の効率 (KLa…物質移動係数) の値を取得。

(処理水 BOD の計算では、Step2-1、2-2 は曝気を継続した場合の DO 変化 (図の点線) に修正)

Step3：さらに曝気を継続し、DO 変化曲線を測定する。

処理水 BOD は、易分解性 BOD（図 3 の空色の格子模様部分の面積×KLa から易分解性 BOD）、と遅分解性 BOD（図 3 の緑色の斜線部分の面積×KLa）の合計として計算できますが、遅分解性 BOD の計算の基準となる DOhf_max は、測定毎に変化する値です。この値を、活性汚泥混合液や測定運転条件に合わせて適正に補正することで、同じ活性汚泥の汚泥であれば、一つの基準となる DOhf_max で、公定法の BOD と極めて近い処理水 BOD が測定できます。TSbod 装置には、公定法の BOD から DOfh_max を適正值に設定する簡便な機能を備えています。

3. 測定原理

(3-1) 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。

$$X = a \cdot L_r + b \cdot S_a \quad \cdots (3) \text{ 式}$$

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

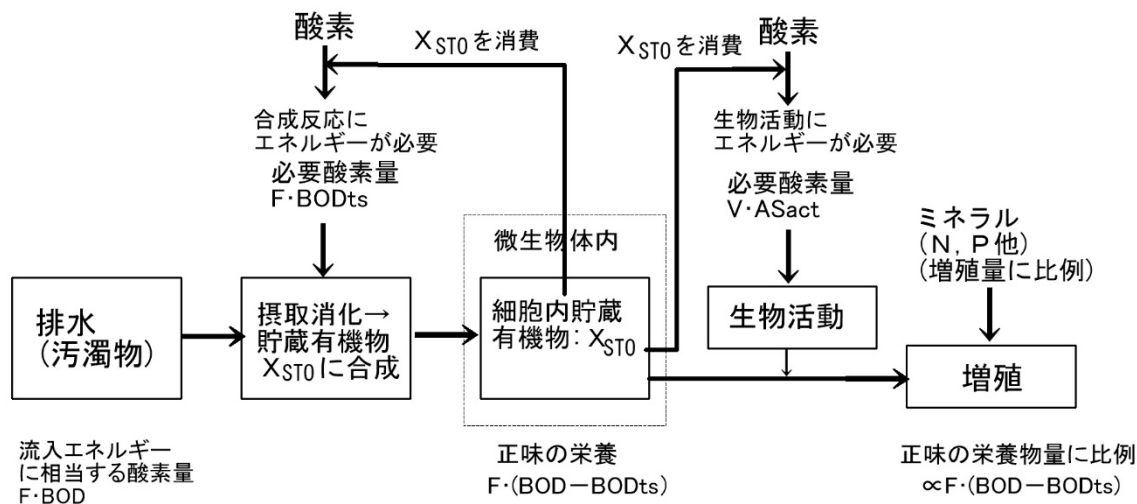
a : 除去 BOD のうちエネルギー獲得のため利用される割合 0.35～0.55

b : 汚泥の内生呼吸に利用される割合[1/d] 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 3-3 は、IWA（国際水協会）の活性汚泥モデル（ASM3）の考え方をベースに、曝気槽内の微生物と BOD（汚濁物：栄養源）の関係を模式的に示したものです。

図 3-3：微生物からみた酸素消費（流入水 BOD の処理）



活性汚泥における、曝気槽に流入する汚濁物量（微生物にとっては栄養物）は BOD として表します。BOD は汚濁物をエネルギーに変換するために必要な酸素量です。

微生物は、汚濁物を摂取し、易分解性成分は、速やかに細胞膜から体内に取り込みます。分子量の大きい遅分解性成分は、加水分解を経て易分解性成分に変えてから体内に取り込みます。体内に取り込んだ易分解性成分はそのままの形ではいくらか取り込めないで、酵素反応を繰り返して細胞内貯蔵有機物 X_{STO} （人間でいえばグリコーゲンや

タンパク質や脂質やその前段物質など）に合成して栄養物として体内にため込みます。易分解性成分を細胞内貯蔵有機物に合成するためには反応エネルギーが必要になり、そのエネルギーは微生物体内に蓄積してある細胞内貯蔵有機物 X_{sto} と酸素から作り出します。Step1 での BOD_t や、TSchecker、TSanalyzer で原水添加を測定計測される酸素消費量 (BOD_t) は、この時に必要な酸素量に相当します。

また微生物は体内に貯めこんだ細胞内貯蔵有機物 X_{sto} を使って生物活動を行い増殖していきます。その際のエネルギーは、 X_{sto} と酸素から作りだし、その時の酸素消費速度が内生呼吸による酸素消費量 ((1)式の AS_{act} ・・・図 3 の Step2-1 で測定する AS_{act}) に相当します。

註：遅分解性成分→ X_{sto} への合成は、加水分解が必要なため時間遅れが生じ、酸素消費速度の変化だけでは、内生呼吸による酸素消費量と区別が難しいため、便宜的に内生呼吸による酸素消費量に含めるとして取り扱います。

実際の活性汚泥が安定状態にある場合、酸素の物質収支から、

$$F \cdot BOD = F \cdot BOD_t + V \cdot AS_{act}$$

(F：原水処理量、V：曝気槽容量)

の関係となり、(3) 式との対応は概ね

$$X = F \cdot BOD、a \cdot L_r = F \cdot BOD_t、b \cdot S_a = V \cdot AS_{act}$$

になり、TSchecker での原水 BOD_t の測定は、 $a \cdot L_r$ を具体的に計測していることになります。

また、活性汚泥が良好に原水の BOD を継続処理するためには、曝気槽の滞留時間 t で排水の BOD を細胞内貯蔵有機物 X_{sto} に変換しなければならない。つまり、

$$BOD_t = \int BOD_{act} \cdot dt$$

の関係が成立することが必要になります。

BOD_{act} （排水中の易分解性 BOD を細胞内貯蔵有機物 X_{sto} に変換するために必要な酸素消費速度）は、BOD の基質や汚泥の活性によるので、活性汚泥ごとに異なる性質となります。一方、細胞内貯蔵有機物 X_{sto} を使って生物活動を行う反応は、好気性微生物に概ね共通の反応なので、微生物量に相当する MLSS に代表される指標で、共通的に扱うことができます。

また、微生物が排水の BOD から獲得する真の栄養物量は、排水の BOD から、栄養物に変換するために消費する BOD_t を控除した量 ($BOD - BOD_t$) となり、 BOD_t/BOD は、余剰汚泥の発生 (→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。

(3-2) TS 装置 (TSchecker、TSanalyzer、TSbod) での DO 変化の計算根拠

TS 装置の曝気操作での DO 変化は、以下の計算式を根拠としています。

基本となる計算式は (1) 式です。

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

DO : 溶存酸素濃度 [mg/l]、DO_{sat} : 飽和溶存酸素濃度 [mg/l]、

K_{La} : 物質移動係数 [1/min] (酸素供給速度係数)

AS_{act} : 呼吸による酸素消費速度 [mg/l/min]、

BOD_{act} : BOD 物質を分解する酸素消費速度 [mg/l/min]

(1) 式から BOD_{act} ≒ 0 (BOD が無いとき) のとき DO 値の変化は (2) 式で表せます。

$$DO = DO_{hf} - (DO_{hf} - DO_0) \exp(-K_{La} \cdot t) \quad (2) \text{ 式}$$

DO_{hf} : 混合液の BOD が ≒ 0mg/l のとき、汚泥の酸素消費速度と曝気による酸素供給速度が
バランスする DO 値 [mg/l]

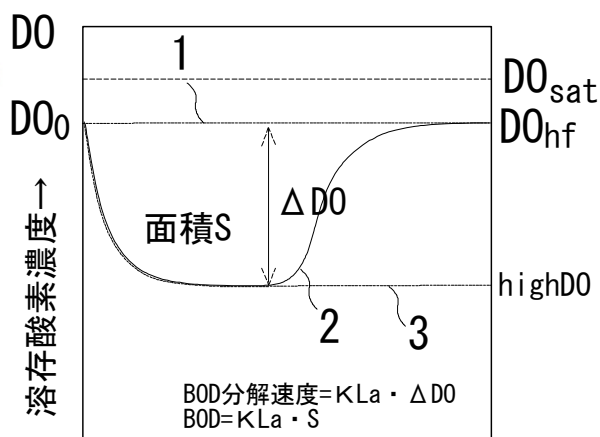
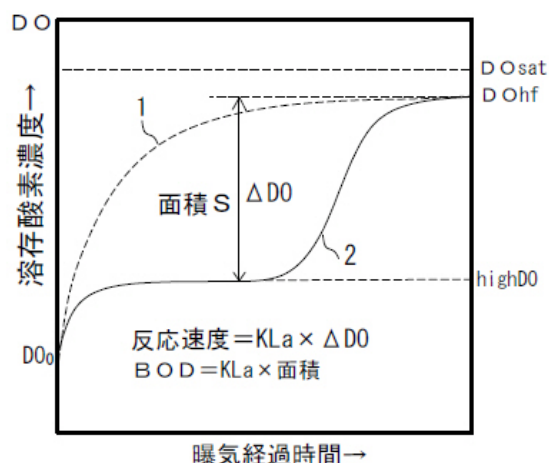
DO₀ : 曝気開始の初期値 [mg/l] t : 経過時間 [min]

混合液中に BOD が残留している場合は BOD の分解にしたがって BOD_{act} が大→小へと変化するため(1)式は積分できないが、その DO 値の変化は図 3-1、3-2 の実線 2 のような変化になります。一方 BOD の残留がないときは汚泥の呼吸による酸素消費速度 AS_{act} のみになるので(2)式で計算される図 3-1、3-2 の点線 1 の変化になります。両曲線の DO 値の乖離幅 ΔDO × K_{La} は BOD 物質の汚泥による分解速度 (酸素消費速度・・・BOD_{act}) の大きさに相当し、両曲線で囲まれた面積 S × K_{La} は BOD 物質を分解し終わるまでの酸素消費量 (BOD_{ts}) に相当します。

したがって(2)式の DO_{hf} と K_{La} を測定しておけば、試料添加時の DO 変化から、BOD_{act} や BOD_{ts} が計算できます。

図 3-1 : 初期値 DO₀ が低い場合

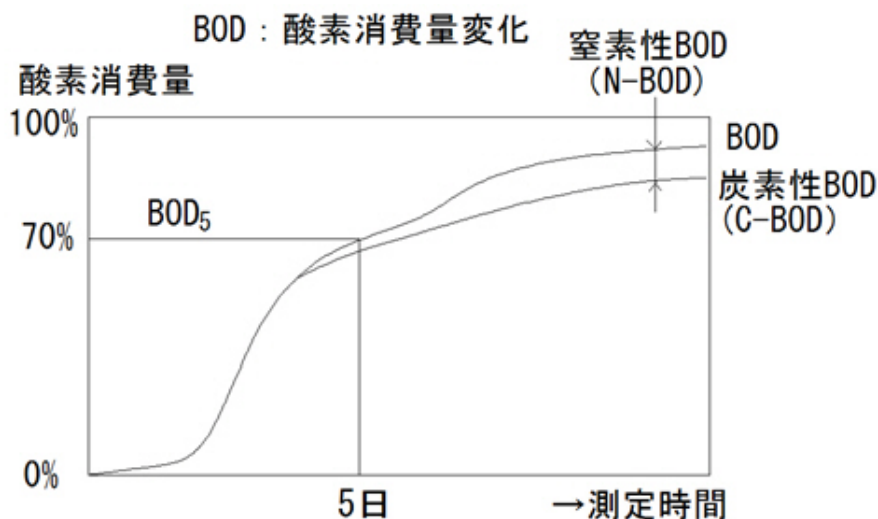
図 3-2 : 初期値 DO₀ が DO_{hf} の場合



(3-3) 公定法の BOD 測定値

活性汚泥の運転管理で重要な指標は、いうまでもなく BOD です。通常 BOD と表記される指標は、日本工業規格 (JIS) の K0102 の測定法に定める、微生物が 5 日間で消費する酸素消費量 (BOD₅ と表記) です。

下図は BOD₅ 測定における、フラン瓶中の測定経時間と酸素消費量の変化例です。



酸素消費量は、被測定試料中の有機物の分解による BOD (C-BOD) と、被測定試料中の有機物に窒素分 (N) が含まれると、硝化菌の作用による $\text{NH}_4\text{-N} \rightarrow \text{NO}_x\text{-N}$ の酸素消費量 (N-BOD) の合計になります。

注意すべきは、5 日間では微生物による酸素消費量が必ずしも完結していない途中 (図では 70%) の値であることです。馴養された植種汚泥を使って測定すれば、易分解性 BOD はほぼ 100% の酸素消費量になりますが、遅分解性 BOD は反応途中で、植種微生物の馴養状態や、遅分解性成分により異なる反応率になり、さらに硝化による N-BOD は、一般にその一部分しか測定されない、というかなりアバウトな測定値です。

したがって TS 装置での測定値と公定法の BOD を計算式で 1 対 1 に結びつけるのは困難で、TS 装置での処理水 BOD 測定値が実測の公定法の BOD になるように計算のパラメーターを設定します。

4. 測定例

(4-1) トレンド記録画面

図 4-1 は TSbod の測定記録画面の例です。

上段のグラフには、処理水 BOD の測定結果がトレンド表示されます。

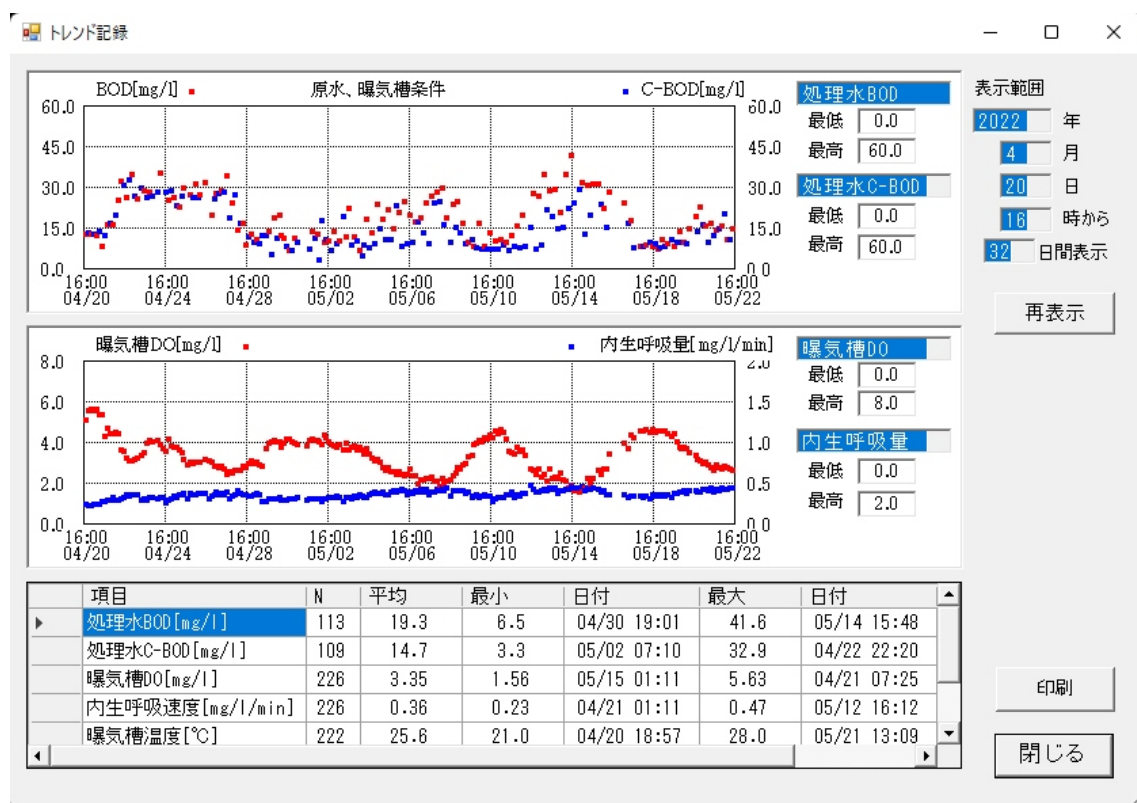
(図では、通常測定 (硝化による酸素消費量込み) の BOD と、硝化による酸素消費量を除外した有機物による BOD を交互に行っています)

下段のグラフには、曝気槽の DO と内生呼吸時 (Step1 の終わり時点) の酸素消費速度 (または曝気槽温度) が表示されます。

最下段の集計表には、表示されている期間のそれぞれの最高/最低/平均が表示されます。

図は、記録画面ですが、測定画面も同様の構成で、測定結果が出るたびに追加表示され、グラフはスクロールされていきます。

図 4-1：処理水 BOD 測定結果のコンピュータ画面例

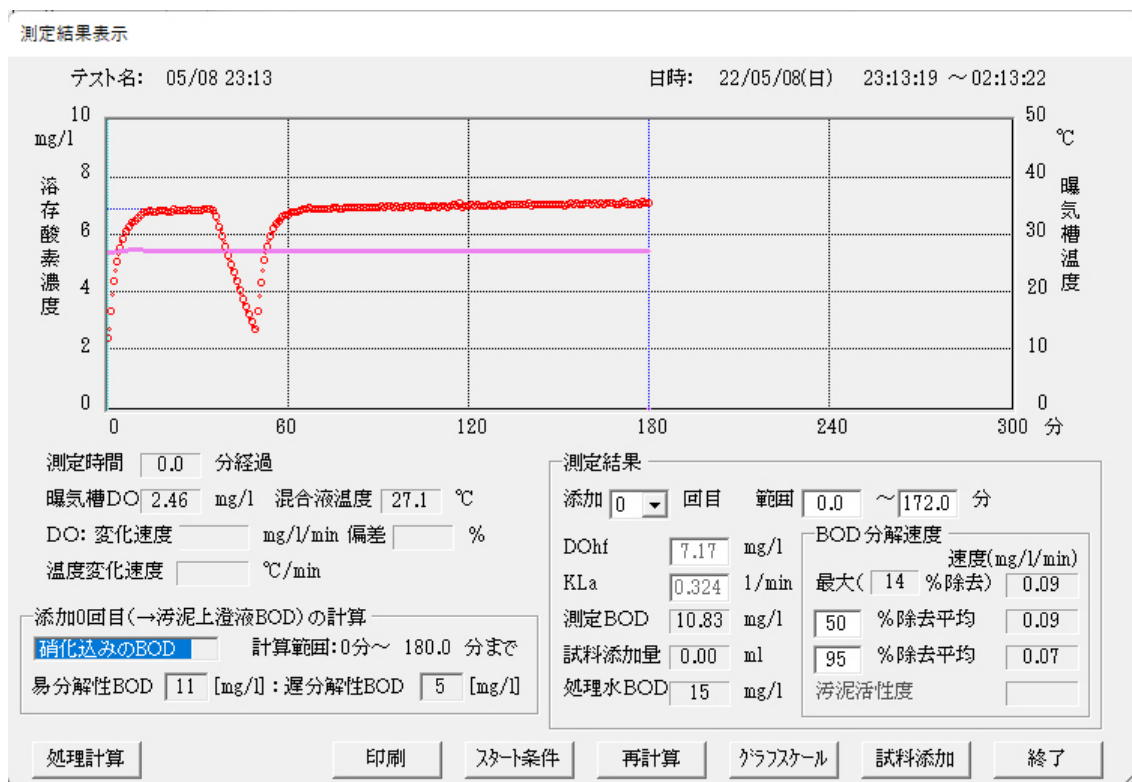


◎通常測定と硝化抑制測定は、通常測定のみ、硝化抑制測定のみ、交互測定 (回数指定) など、活性汚泥の性状に合わせて設定可能です。

(4-2) BOD 測定画面

図 4-2 は測定の記録画面です。

図 4-2：処理水 BOD 測定記録



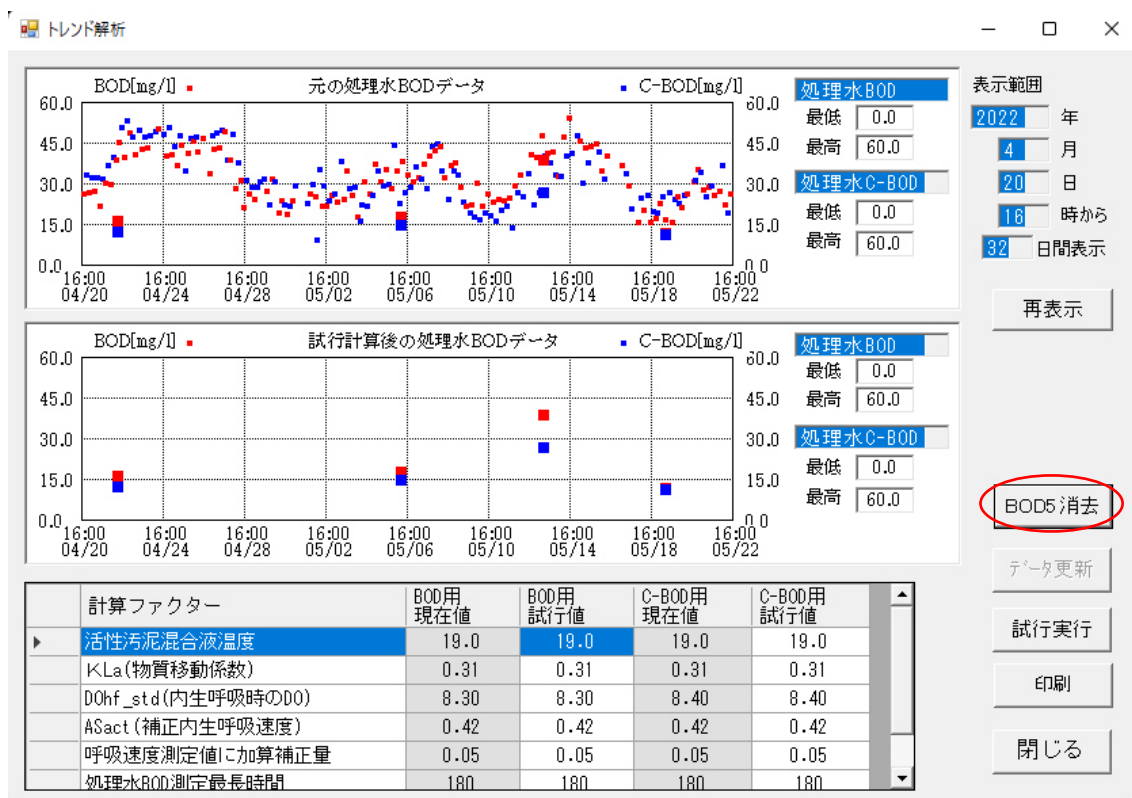
◎処理水 BOD の内訳（易分解性 BOD、遅分解性 BOD）も表示

5. 処理水 BOD 計算の基準条件値の設定

測定の DO 変化から処理水 BOD を計算するには、計算のファクターを適切に設定する必要があります。TSbod には、以下のように実測の公定法 BOD 値と整合させるための便利なソフトが備わっています。

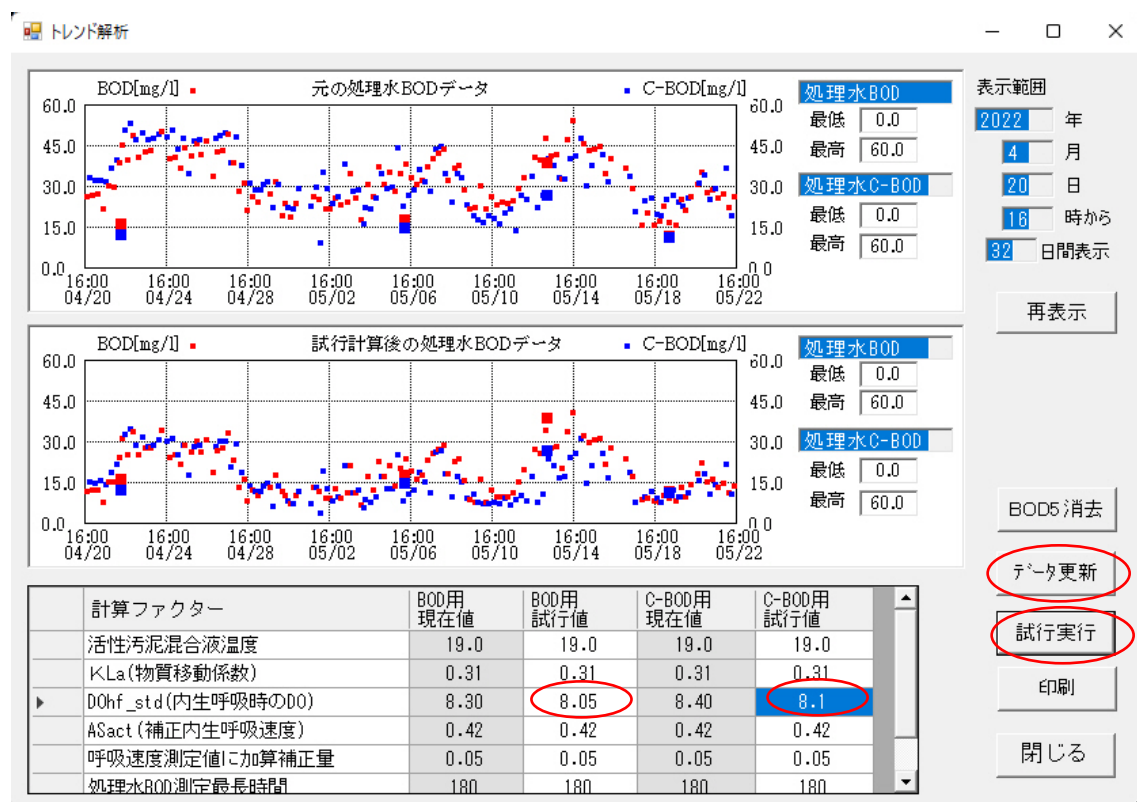
メインメニューの[解析]-[トレンド解析]をクリックすると、例えば仮に設定した計算ファクター（画面下段表の現在値欄）で測定計算した値が図 5-1 の上段のトレンドグラフに表示され、そのグラフに[BOD5 読込]をクリックして、画面に実測値をプロットさせます。

図 5-1：[解析]-[トレンド解析]画面 1



現在値の計算ファクターでは、処理水 BOD 測定値と実測の公定法 BOD 値が若干ずれている場合、図 5-2 のように、BOD 用試行値欄の数値を変えて[試行実行]をクリック。図 5-2 の下段のトレンドグラフに変えた計算ファクターで再計算した結果が表示されます。計算結果と実測の BOD 値と最も整合性の値となるようにこの操作を繰り返します。

図 5-2 : [解析]-[トレンド解析]画面 2



◎もっとも整合性のある計算ファクターになったら、[データ更新]をクリックすると、測定データを、新しい計算ファクターで再計算した結果に書換、新しい計算ファクターを計算のための「基準条件」として更新します。以後の測定は、この新基準条件値をもとに計算を行います。

6. メンテナンスを最小にする各種機能

オンラインの計器なのでメンテナンスは最小に機能を維持することが重要です。

TSbod は、以下のハード、ソフト機能で、定期的（通常 4～6 か月ごと）なメンテナンスだけで済むように設計されています。

- ①DO 計電極は原則蛍光式 DO 計を使用しており、内部電解液の交換や隔膜交換は不要です。（受光部センサーは 1 年ごとに交換が必要です）
- ②DO 計のドリフトを自動補正する機能を持っており、日常の校正作業は原則不要です。
- ③測定容器や曝気装置や DO 計電極面は水と空気で測定毎に洗浄する。
- ④活性汚泥混合液をサンプリングするラインは計装エアと水による強力な逆洗操作で、長期のメンテナンスフリーを実現しています。

7. TSbod の PC メニュー一覧

ファイル	
BOD測定データの編集	測定データを外部メモリーに保存したり、不要データを削除
BOD測定データの組込	外部メモリーの測定データを本体のHDのデータに組み込みます。
測定	
測定	処理水BOD測定操作のメイン機能です。
解析	
トレンド解析	処理水BODを適切に計算するための計算ファクターを解析/設定を行います
処理水BOD5登録	公定法の処理水BOD5をPCに登録します。
環境設定	
装置条件	自動洗浄の実施日時の設定、換気扇作動設定、Web通信設定など、を行います
操作条件	測定操作のサイクル設定、機器作動条件などの設定を行います。
DO計設定	DO計の自動校正補正を行う条件を設定します。
BOD測定条件	処理水BODを計算する基準条件値の設定を行います。
警報設定	警報項目、警報発令の上下限数値の設定などを行います。
自動洗浄設定	自動洗浄（DO計自動校正込み）の操作手順を設定します。
記録	
トレンド記録	指定日時範囲の測定データをトレンド表示/印刷します。
測定記録	指定日時の測定データの詳細を表示します。
サンプリングDO変化	指定日時の測定前のサンプリング～曝気槽DO取得までの測定データを表します。
警報記録	警報発令の記録を集計します。
DO計洗浄補正記録	DO計の洗浄時の校正データを表示。自動校正補正值の設定を行います。
Web通信記録	モニター機とのWeb通信の記録一覧を表示します。
ユーティリティ	
デジタル入出力	操作機器の入出力の設定、機器作動テストなどを行います。
DO計通信	DO計とのデータ通信プロトコルの設定、通信テストなどを行います。
温度通信	温度コントローラとのデータ通信プロトコルの設定、通信テストなどを行います。
温度制御パラメーター設定	ペルチェ冷加熱装置の制御パラメータを設定します。
ヘルプ	
ヘルプ	ヘルプを表示します。

以上